

E.T.S. de Ingeniería Industrial,  
Informática y de Telecomunicaciones

# Máquina Medidora de Rodamientos AJ



Grado en Ingeniería de Diseño Mecánico

## Trabajo Fin de Grado

Alberto Fernández Escribano

Juan Ignacio Latorre Biel

Tudela, 22 de Junio de 2015



## *Resumen*

---

El proyecto va a consistir en una máquina que estoy desarrollando con la empresa que estoy haciendo las prácticas curriculares, Automatizaciones Lamuce S.L.

La máquina fue encargada por SKF CHINA.

Esa máquina, como su nombre indica, consiste en medir la tolerancia de los aros interiores AJ del rodamiento BTH-1222-A con respecto a un anillo exterior de un rodamiento patrón. Se mide la tolerancia en micras entre ambos y con esa medida el operario clasifica el rodamiento con otros aros con esa misma tolerancia.

Para la máquina voy a necesitar 5 cilindros neumáticos, un moto-reductor y una sonda analógica que nos dará la medida del rodamiento.

## *Summary*

---

This dissertation consists of a machine developed in the company, where the autor has performed his final degree's work placement: Automatizaciones Lamuce, S.L.

The machine has been ordered by the multinational SKF China.

This machine, as it is described by its name, measures the tolerance of the inner ring AJ of the bearing BTH-1222-A with respect to the outer ring of a pattern bearing. The tolerance in micrometers is measured between both rings and, using this value, the operator classifies the bearing with other rings of this same tolerance.

In order to design the mentioned machine some parts are needed, such as 5 pneumatic cylinders, a geared motor and an analogic sensor, which provides with the measure of the bearing.

## *Palabras clave*

---

Rodamiento, máquina, diseño mecánico, medida.

## *Keywords*

---

Bearing, machine, mechanical design, measure.

# ÍNDICE

1.- Introducción.....	1
2.- Especificaciones / Pliego de condiciones .....	2
3.- Análisis de alternativas.....	4
4.- Elección de una alternativa.....	6
5.- Diseño de la máquina.....	8
5.1.- Sistema mecánico.....	8
5.2.- Sistema neumático.....	18
5.3.- Sistema eléctrico/ electrónico.....	26
5.4.- Integración.....	30
6.- Presupuesto.....	32
7.- Fabricación de la máquina.....	33
8.- Verificación de las especificaciones.....	40
9.- Otros documentos.....	44
10.- Conclusiones.....	48
11.- Fotos de la máquina.....	49
12.- Bibliografía.....	60
13.- Anexos.....	61

### **1.- Introducción.**

---

En el presente documento se va a tratar el desarrollo de una máquina cuya función va a ser la medición de rodamientos de un tipo específico como es el BTH-1222-A.

Esta máquina va a ser aprobada, construida y puesta a punto por la empresa tudelana *Automatizaciones LAMUCE S.L.*, empresa en la que estoy realizando las prácticas curriculares.

*Automatizaciones LAMUCE* está ubicada en el polígono industrial “Las Labradas” de Tudela (Navarra), cuenta con ingeniería propia, dispone de 4600 m<sup>2</sup> de superficie, dedicándose al diseño, mecanizado y montaje de maquinaria.

Desde el año 1987 en el que comenzó su actividad ha venido desarrollando múltiples aplicaciones de máquinas y procesos proyecto llave en mano en diferentes sectores industriales.

Cuenta con una plantilla de 45 profesionales, cubriendo las áreas de Oficina Técnica, Mecanización, Montaje Mecánico-Eléctrico y Programación.

Las máquinas que diseña son encargos de otras empresas, siendo algunas multinacionales como *SKF, FaureciaAutomotiveExteriors España, Teka, Mubea, Fersabearing,...* Por el momento han llegado a fabricar máquinas para empresas de 15 países distintos como son Alemania, México, China, India o Estados Unidos entre otros.

El tipo de máquinas que fabrica van destinadas a sectores como Automoción, Línea Blanca, Agroalimentario, Electrónica Medio Ambiente, Farmacéutico, Armamento,...

La máquina de la que es objeto el presente TFG fue encargada por la multinacional del sector de fabricación de rodamientos SKF de CHINA.

SKF es un proveedor de tecnología líder en el mundo desde 1907 encargado de fabricar rodamientos y unidades de rodamientos, obturaciones, mecatrónica, servicios y sistemas de lubricación.

Dicha empresa contactó con la empresa tudelana porque estaban interesados en comprar una máquina que midiera la tolerancia del anillo interior del rodamiento con uno exterior patrón de su mismo tipo para proceder a la posterior clasificación del rodamiento.

## 2.- Especificaciones / Pliego de condiciones

Para tener claras las especificaciones de la máquina tuve que ponerme en contacto con el cliente ya que de no haber sido así no podía diseñar la máquina.

El cliente, representante de SKF de China, me dio unas pautas mecánicas que se tenían que cumplir obligatoriamente:

- 1) La **altura** de la entrada y salida de rodamientos que se realizaría mediante flex-link (cinta transportadora que ponían ellos) debía estar a **872 mm** del suelo.
- 2) El **tiempo de ciclo** debía ser inferior a **8 segundos**. El tiempo de ciclo se mide desde que un rodamiento toca la primera pieza de la máquina hasta que sale de ésta por el flex-link de salida.
- 3) El **error de la tolerancia** máxima que debía haber entre los anillos de los rodamientos en la medición debía ser inferior a **3.5 micras**.
- 4) Todos los **elementos neumáticos** que insertáramos en la máquina debían ser de la marca **FESTO**, ya que SKF mundial trabaja con esa marca.

Además de esos requisitos mecánicos, nos exigieron otros de carácter eléctrico:

- 1) La **unidad de control PLC** debía ser de la marca **Siemens**.
- 2) La puerta del armario eléctrico debía tener una **conexión interface para PLC y un enchufe de 230 V** además de llevar el alimentador de 400 V que es el que alimenta la máquina.

Además, como la máquina es un elemento de exportación, dentro de la oferta había que dejar claro otra serie de requisitos como son:

- 1) **Tiempo de fabricación. 12 semanas** desde la aprobación del proyecto por parte del cliente.
- 2) **Forma de pago.**
- 3) **Modo de exportación.** Se eligió el tipo **EX – WORD** que consiste en que la empresa proveedora, en este caso Automatizaciones Lamuce S.L. se encarga de la máquina hasta que sale de su parcela, es decir, hasta que “sale por la puerta” y la empresa compradora, en este caso SKF de China se encarga del transporte hasta que llega al destino correspondiente.
- 4) **Puesta a punto.** Miembros de nuestra empresa es la encargada de ir a China para poner en marcha la máquina para que no haya ningún tipo de problemas.

- 5) **Garantía.** La garantía de la máquina será de 2 años empezando a contar desde la puesta a punto en su fábrica.

### 3.- Análisis de alternativas

#### Respecto al análisis mecánico.

Basándome en el hecho de que el rodamiento a medir tiene que entrar y salir por el mismo plano, es decir, a la misma altura, tengo 2 opciones para escoger:

- 1) Que el rodamiento permanezca por la misma línea todo el rato, es decir, que las operaciones que se realicen en la máquina sean en línea recta.

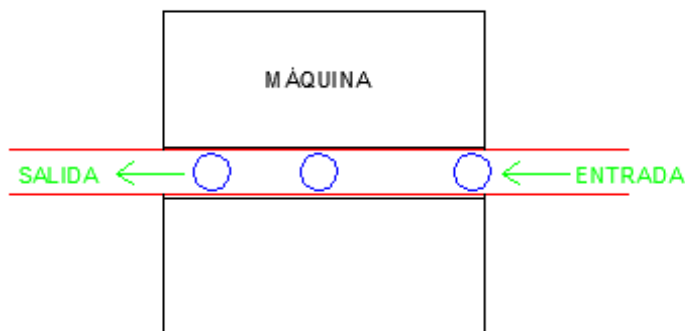


Ilustración 1: Simulación del movimiento del rodamiento a través de la máquina.

- 2) Trasladar al rodamiento a otra línea paralela a la que entra. Las operaciones que se realicen en la máquina serán en dos o tres líneas paralelas al Flex-link de entrada (según sea necesario).

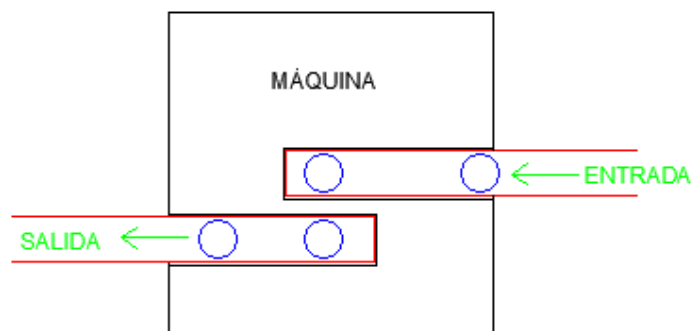


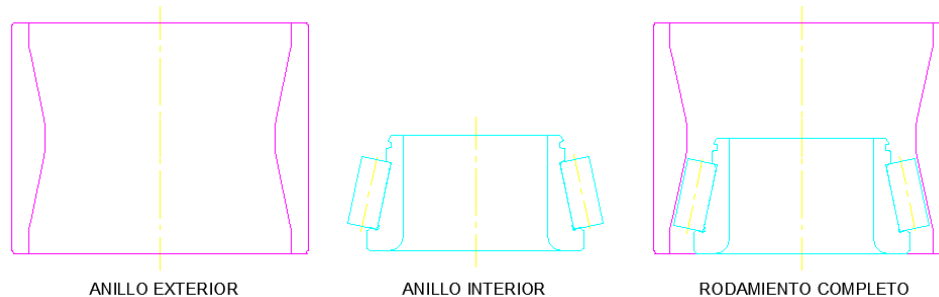
Ilustración 2: Simulación del movimiento del rodamiento a través de la máquina.

Otra de las cuestiones a resolver es la colocación de un moto-reductor ya que para tener una buena medición es necesario que el anillo patrón o el anillo a medir esté girando uno con respecto al otro. Por lo tanto, se plantean 4 cuestiones:

- 1) El moto-reductor esté en la parte superior de la máquina y gire el rodamiento a medir.
- 2) El moto-reductor esté en la parte superior de la máquina y gire el rodamiento patrón.
- 3) El moto-reductor esté en la parte inferior de la máquina y gire el rodamiento a medir.

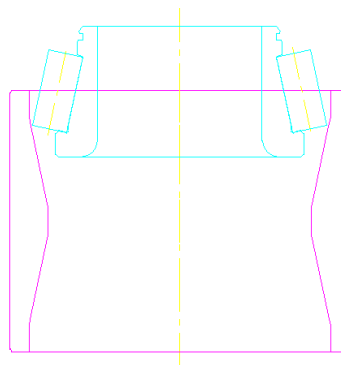
- 4) El moto-reductor esté en la parte inferior de la máquina y gire el rodamiento patrón.

Para solucionar este problema, nos fijamos en la posición en la que nos va a llegar el rodamiento que tenemos que medir y como es el anillo exterior o anillo patrón.



**Ilustración 3: Posiciones reales de los rodamientos seccionados del tipo BTH-1222-A.**

Fijándonos en la Ilustración 3, observamos que el moto-reductor tiene que posicionarse en la parte superior ya que, en caso contrario, le tendría que dar la vuelta al rodamiento que entra (anillo interior) ya que no encajaría (Ilustración 4).



**Ilustración 4: Posición del anillo interior con respecto al exterior del tipo BTH-1222-A.**

De esta manera, de las opciones que tenemos eliminamos las dos últimas y sacamos ya una conclusión que nos ayudará a realizar el diseño: el moto-reductor tiene que colocarse en la parte superior de la máquina.



#### 4.- Elección de una alternativa

Para el desarrollo de este apartado creo que es necesario que conozcamos cómo es el rodamiento, sus maneras de medir, con qué se mide y qué es lo que medimos.

Me voy a centrar en el rodamiento BTH-1222-A ya que es el tipo para el que he realizado la máquina. Este rodamiento es de rodillos como se puede apreciar en la siguiente imagen.

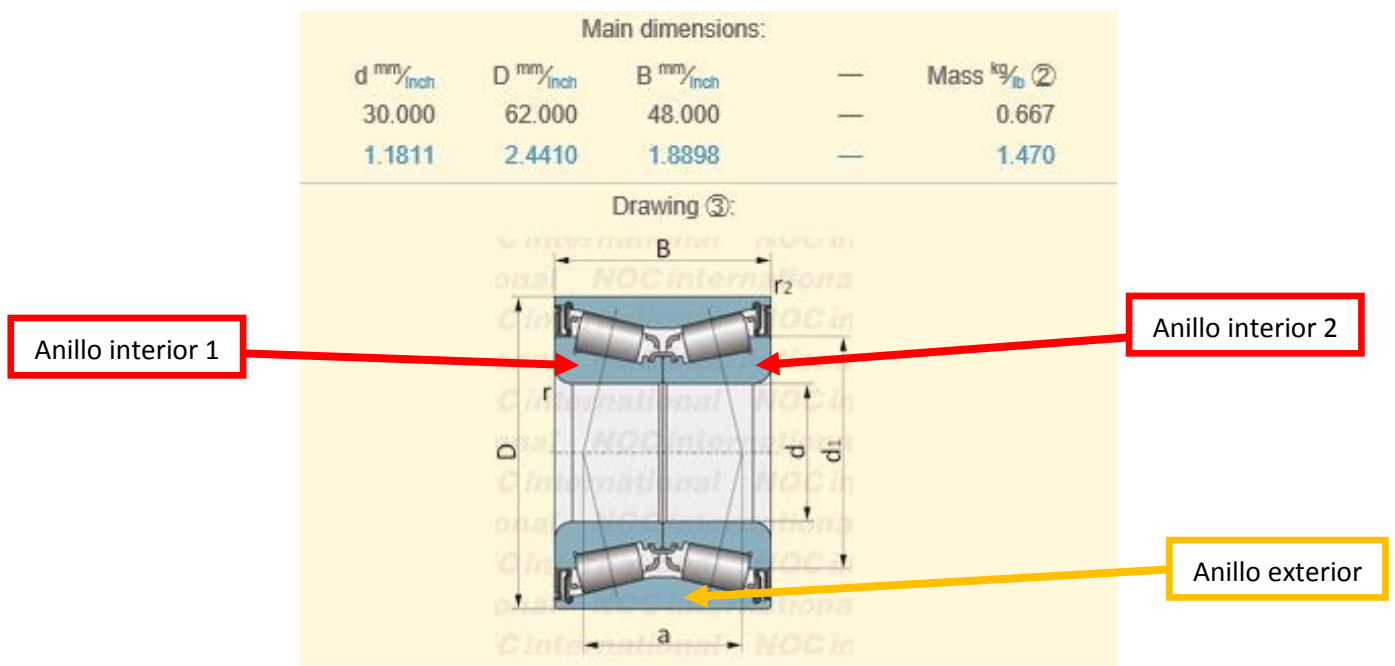


Ilustración 5: Rodamiento BTH-1222-A.

Para emparejar un rodamiento se necesita medir la holgura entre los rodillos y el anillo exterior, ya que ésta tiene que estar en un cierto rango de medida porque, en caso contrario, el rodamiento no tendría la fiabilidad que el fabricante (en este caso SKF) asegura.

Para medir esa holgura necesitamos juntar el anillo interior del rodamiento (con los rodillos montados) con un anillo exterior de ese mismo tipo. Por ello, nosotros cortaremos y mecanizaremos el anillo exterior por la mitad para medir todos los anillos interiores con él.

Esa holgura se mide con sondas analógicas ya que estoy hablando de micras, es decir, milésimas de milímetro. Se podría medir con micrómetro pero queda descartado porque el anillo exterior tiene las paredes inclinadas y algo alabeadas para que los rodillos se acoplen perfectamente.

En este momento ya tenemos bastante detallado el diseño de la máquina ya que estudiando las alternativas del apartado anterior podemos llegar a varias conclusiones, como son:

- Los rodamientos tendrán que ir en sentidos paralelos (Ilustración 7) ya que es mucho más fácil dirigir el rodamiento a puntos exactos que si permanece en todo momento en el mismo Flex-link. En la cinta (Flex-link) se puede poner un cilindro que actúe de

"paso a paso" pero el rodamiento hace un movimiento extraño (parece que está saltando) por lo que con ese método sólo se puede parar ya que no permanece quieto.

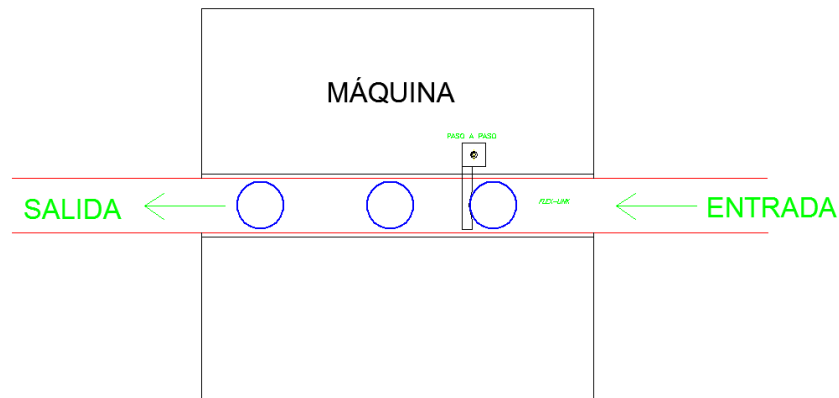


Ilustración 6: Simulación del Flex-link en línea con un "Paso a paso"

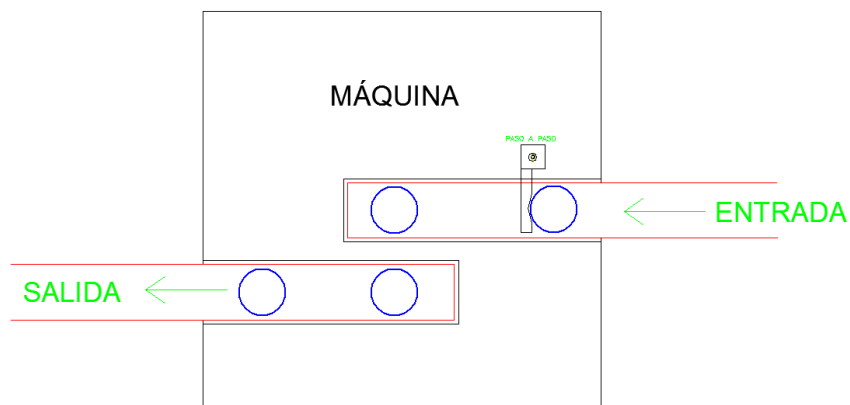


Ilustración 7: Simulación del Flex-link en paralelo con un "Paso a paso".

- Con respecto a elegir quién debe girar, si el rodamiento patrón o el rodamiento a medir, estudiando la situación llego a la conclusión de que es más lógico que gire el rodamiento patrón ya que éste permanece en un lugar quieto, es decir, su posición siempre es la misma. En cambio el anillo interior va a estar en continuo movimiento.

## 5.- Diseño de la máquina

### 5.1.-Sistema mecánico

El diseño que he desarrollado lo podemos ver en la Ilustración 8.

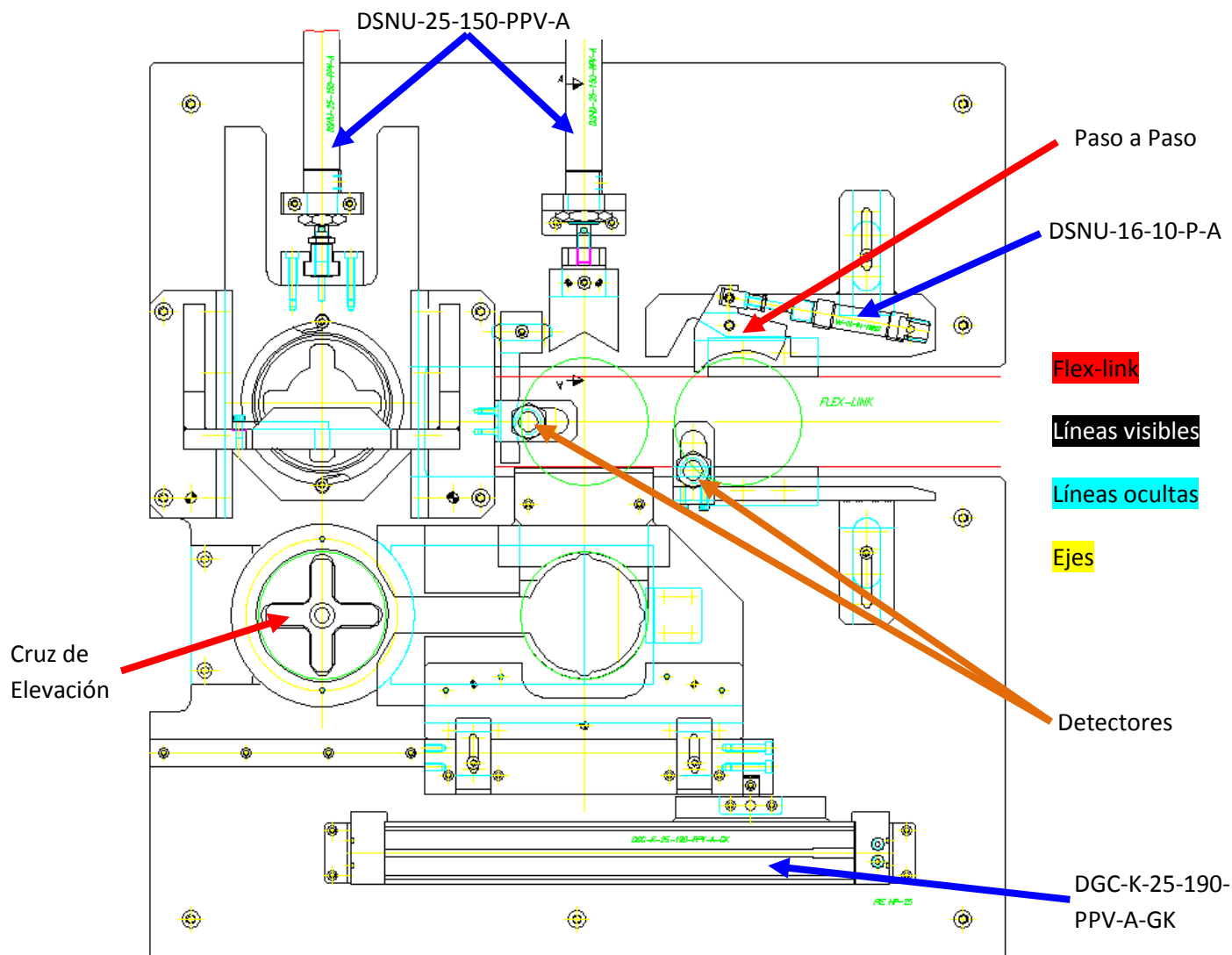


Ilustración 8: Vista en planta de la máquina.

Como ya hemos mencionado antes, el rodamiento nos entra a la máquina mediante un Flex-link ya que ésta va a estar en una línea de montaje y clasificación de rodamientos. Por ese motivo, vamos a necesitar un elemento (paso a paso) que pare los rodamientos antes de llegar al lugar donde estará la sonda que medirá la tolerancia del rodamiento.

Si miramos la Ilustración 7 que es la vista en planta (miramos desde la parte de arriba) de la máquina, el rodamiento entra por la parte derecha de la máquina hasta el momento que llega al "Paso a Paso"(a), pieza que va dominada por el primer cilindro que vemos que es un DSNU-16-10-P-A.

Cuando el detector que hay colocado en la parte superior marca que hay presencia de rodamiento, el cilindro DSNU-16-10-P-A se cierra, por lo que la pieza "Paso a Paso" se abre (b). Como el anillo sigue en el Flex- link llega hasta el siguiente tope que se encuentra, el cual siempre es fijo (c). En el momento que el segundo detector marca la presencia de rodamiento, ejerce dos funciones: primero cierra el cilindro del Paso a Paso y al mismo tiempo hace salir al cilindro DSNU-25-150-PPV-A (d).

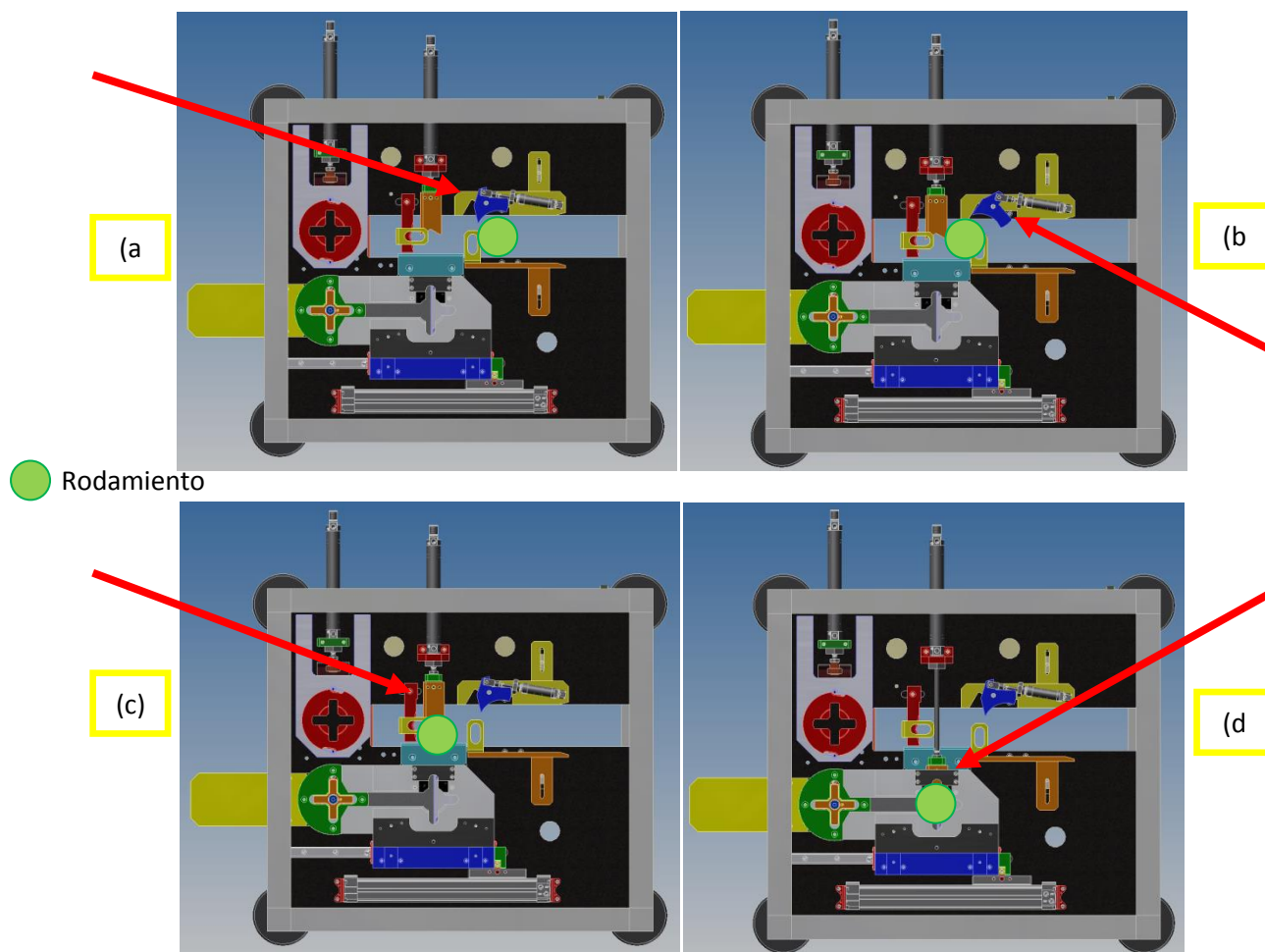


Ilustración 9: Simulación del paso a paso y al introducir el rodamiento.

Este último introduce al rodamiento en el interior de la pieza porta-rodamientos que podemos observar en la Ilustración 10.

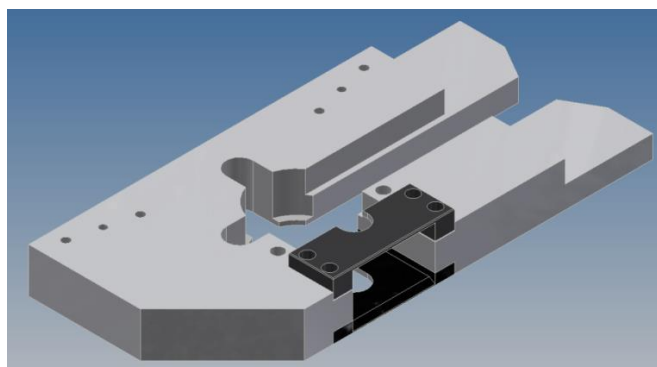


Ilustración 10: Pieza Porta-rodamientos.

El rodamiento se queda sujeto en el interior de esa pieza, y en el momento que el detector que está colocado por la parte inferior detecta la presencia del rodamiento, el cilindro DSNU-25-150-PPV-A que estaba fuera, se mete. Cuando llega al fondo, está es detectada por un detector magnético que le ponemos en el cilindro. Ese detector le da la orden al cilindro DGC-K-25-190-PPV-A-KG para que se desplace hacia la izquierda dejando al rodamiento justo encima de la cruz de elevación que vemos en la Ilustración 8 y 12.

La pieza Porta-rodamientos (Ilustración 9) tiene otra función, que es empujar al Flex-link de salida al rodamiento que previamente estaba en la Cruz de Medición con la tolerancia ya medida.

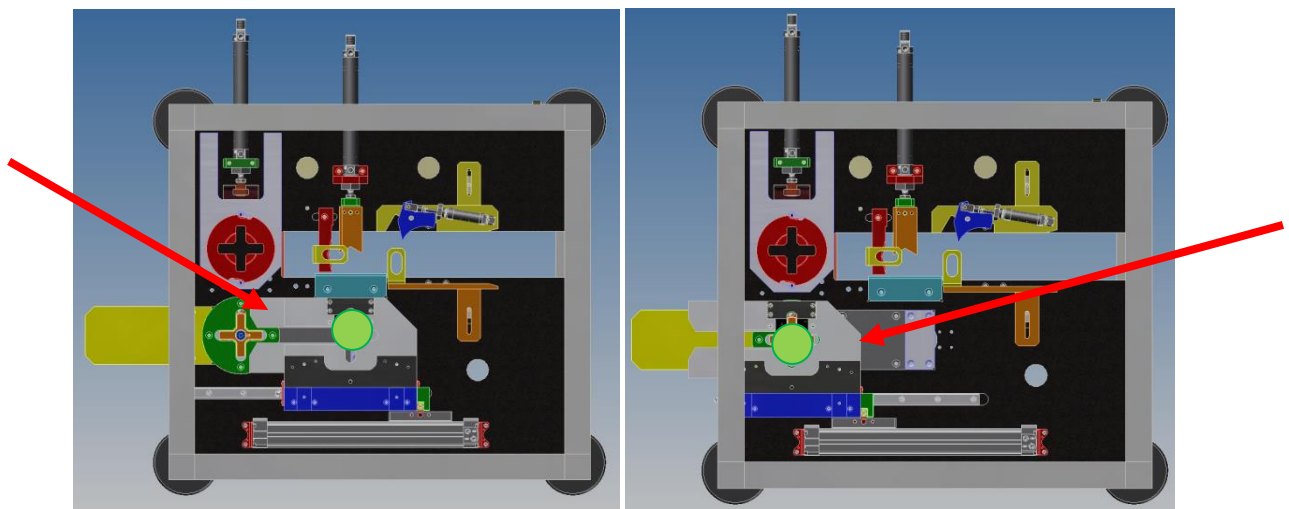


Ilustración 11: Simulación del desplazamiento del rodamiento.

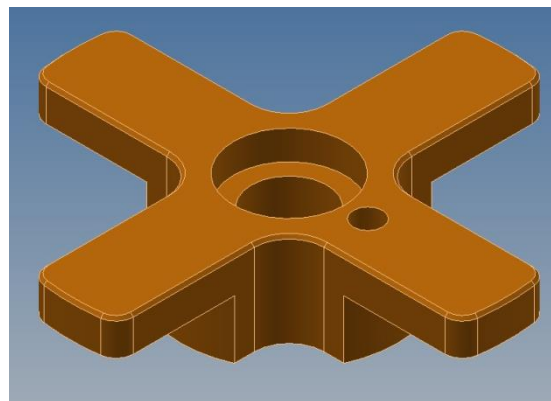


Ilustración 12: Cruz de Elevación.

La función de esta pieza es elevar el rodamiento para que llegue al rodamiento patrón pasando a través de la pieza Porta-rodamientos (Ilustración 11).

En el momento que el cilindro DGC-K-25-190-PPV-A-GK ha salido del todo, el detector magnético que lleva en el final de carrera da la orden al cilindro DSBC-50-60-PPVA-A cuya función es elevar al rodamiento para llegar a tocar el rodamiento patrón y poder medir. Queda representado en la Ilustración 13 y 14.

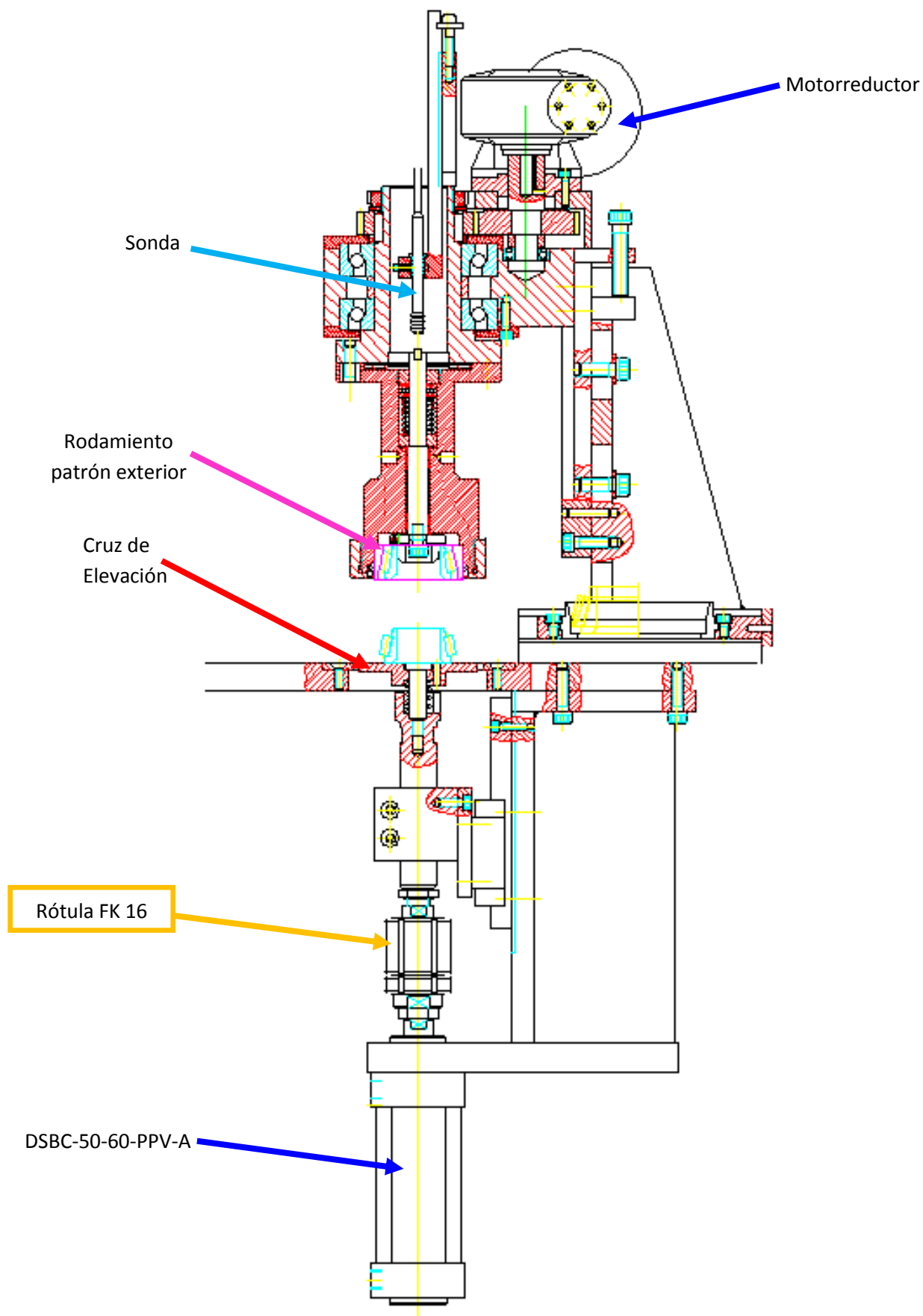
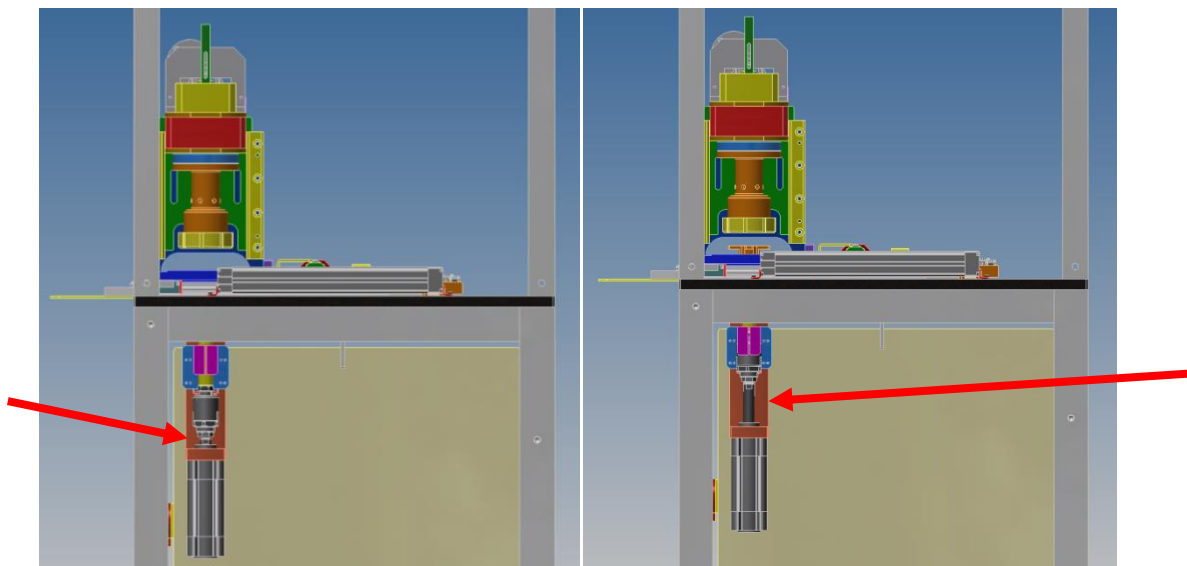
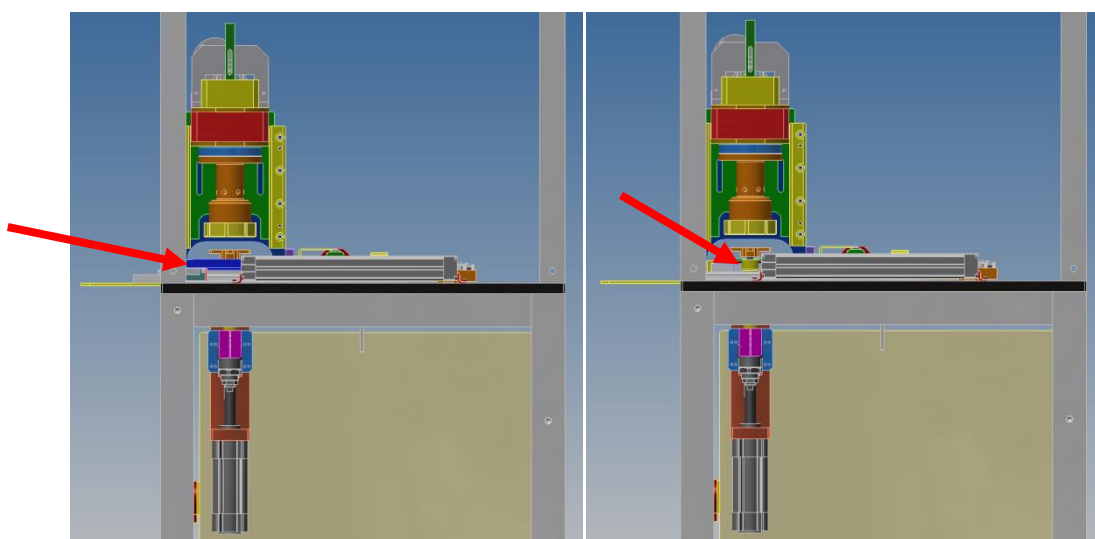


Ilustración 13: Máquina vista de perfil seccionada por el eje de la Cruz de Elevación.



**Ilustración 14: Simulación de elevar la Cruz de Elevación.**

Al llegar arriba el cilindro DGC-K-25-190-PPV-A-GK vuelve a su posición inicial para estar preparado para cuando entre otro rodamiento. En la Ilustración 14 observamos que la pieza azul y blanca han desaparecido, eso nos confirma que se ha retirado para atrás.



**Ilustración 15: Simulación de la retirada del cilindro DGC-K-25-190-PPV-A-GK.**

A su vez, los dos rodamientos a comparar ya están en contacto, por lo tanto, obtenemos la medida, como ya he mencionado otras veces, en micras. Tras 1,5 segundos de medición el cilindro DSBC-50-60-PPV-A baja, manteniendo todavía el rodamiento encima.

Al llegar este último cilindro abajo, el detector magnético que lleva manda la señal al programa, y éste le manda la señal al primer cilindro DSNU-16-10-P-A que gobernaba el Paso a Paso para dejar pasar otro rodamiento.

El rodamiento que acaba de entrar repetirá todo el proceso de nuevo.

Además de todo este proceso, tenemos un cilindro más, el DSNU-25-150-PPV-A, que como observamos en la Ilustración 15 es el que domina al rodamiento que utilizamos como



patrón que sirve para calibrar la máquina cada "x" números de rodamientos (lo estipularán los de SKF) que pasen.

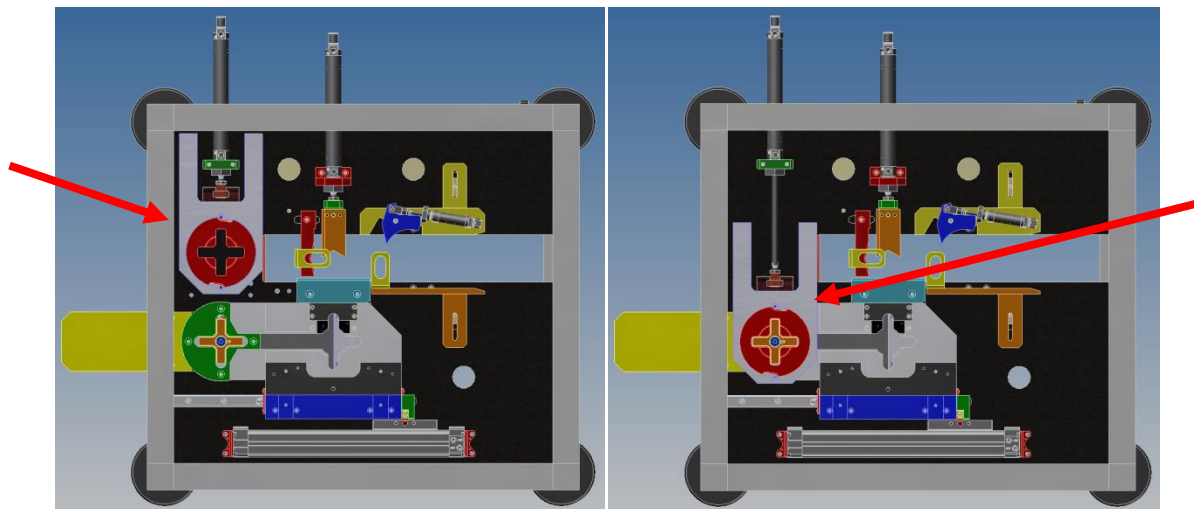


Ilustración 16: Simulación de introducir el rodamiento de calibración de la máquina.

Como podemos observar, la pieza roja se queda justo encima de la verde y el agujero con forma que tiene es un poco más grande de la pieza naranja (Cruz de Elevación) para que ésta pueda pasar.

En las Ilustraciones 9, 11 y 16 faltan las piezas que van en la parte superior de la máquina (han sido suprimidas para poder observar mejor los dibujos). Estas piezas son las de las dos siguientes ilustraciones.

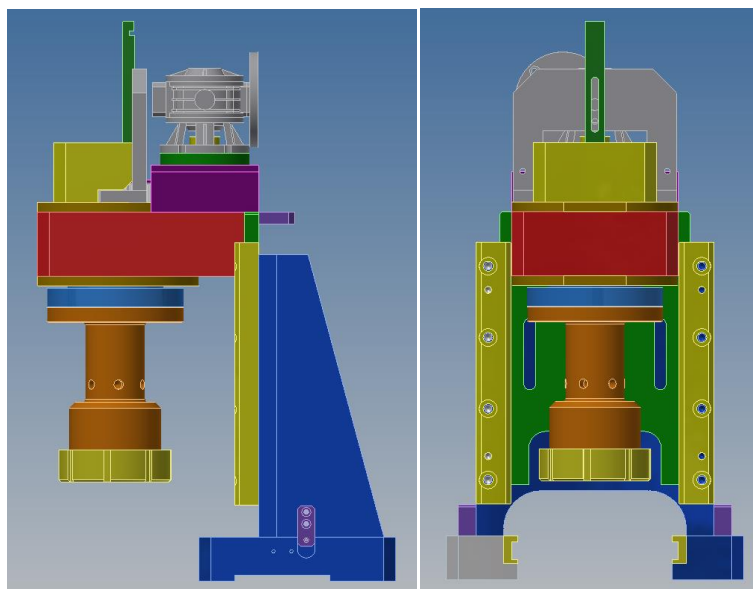
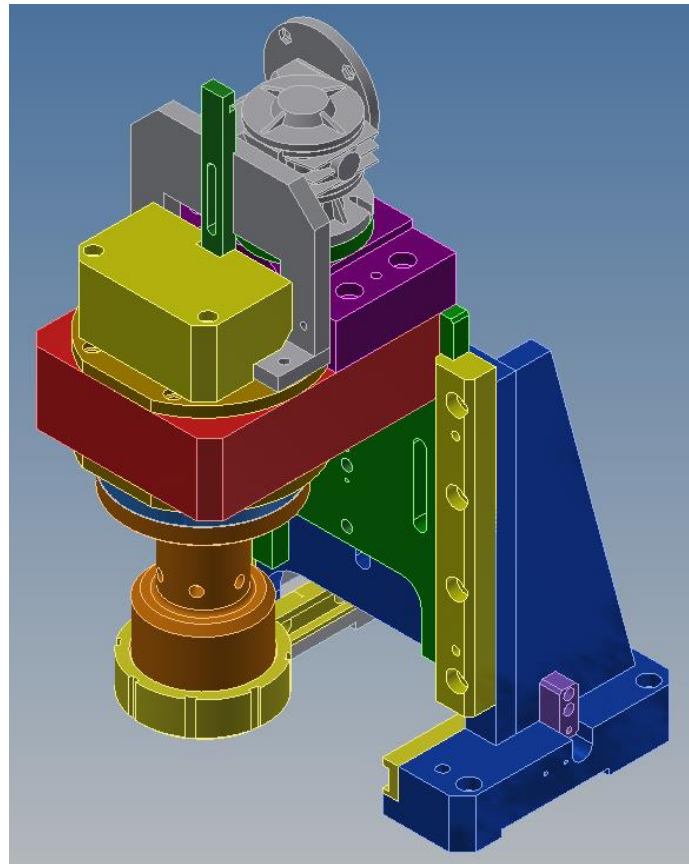


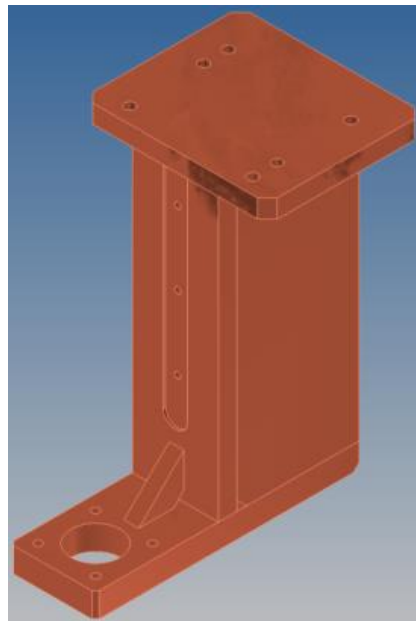
Ilustración 17: Perfil y alzado de las piezas de la parte superior.





**Ilustración 18: Piezas de la parte superior.**

Además necesité desarrollar un soporte resistente para la parte de abajo ya que tenía que aguantar el peso del cilindro y las demás piezas que sostiene éste.



**Ilustración 19: Soporte del cilindro DSBC-50-60-PPV-A.**

Como vemos en el diseño tenemos dos muelles puestos, uno en la parte superior (eje de elevación) y otro en la parte inferior (cruz de elevación) (Ilustración 13). Estos muelles están

puestos para que el contacto entre las dos partes del rodamiento no sea brusco y se absorba el golpe entre ambos. Además, de esta manera, conseguimos un ajuste perfecto entre los rodillos del rodamiento a medir y el anillo exterior o patrón.

También tenemos un rótula FK 16, situada encima del cilindro DSBC-50-60-PPV-A, que nos sirve para regular la altura y ajustarla a la medida perfecta para que no haya ningún problema para el paso de los rodamientos ni para la medición de ambos.

Con respecto a la parte superior (Ilustración 20), observamos donde va colocada la sonda. El funcionamiento de medición es el siguiente: El rodamiento a medir sube, toca con el rodamiento patrón exterior. Este se desplaza hacia arriba empujando al eje que como está en contacto con la sonda nos da medición entre ambos anillos. La sonda está siempre en contacto con el eje siendo la posición de reposo la cota 0. Al subir, la cota cambia.

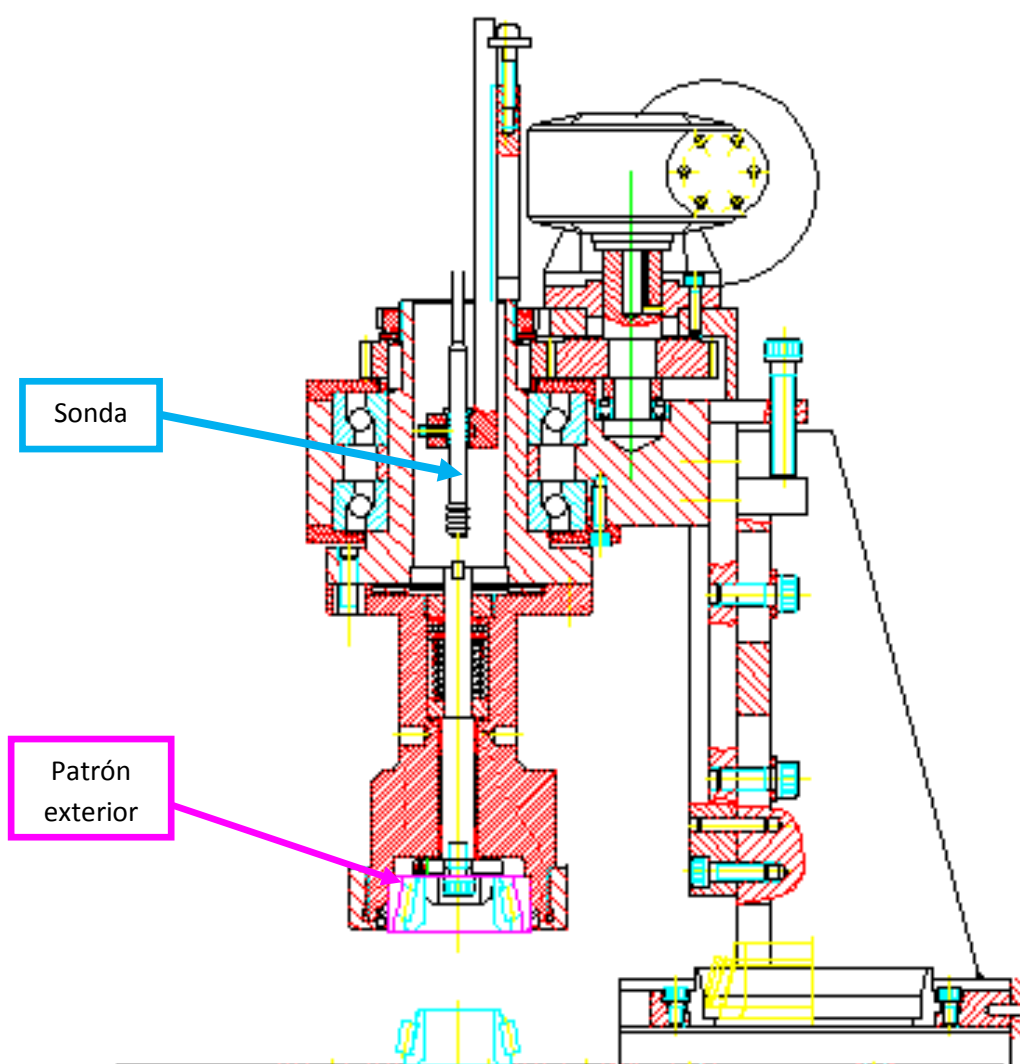


Ilustración 20: Sección de la parte superior de la máquina.

Además, a la salida del moto-reductor tuve que poner dos engranajes para transmitir el movimiento entre ejes paralelos y para reducir la velocidad del eje para evitar problemas de gripado entre las piezas metálicas que están en contacto y para mejorar la precisión de la medida.

Otra de las cosas que no he mencionado, es que para obtener una gran precisión en el movimiento de las piezas con los rodamientos, las piezas deben ir guiadas con carriles con sus respectivos patines. Estos patines son de la marca Hiwin. En este diseño tuve que introducir dos carriles y tres patines:

- **Guía y patín HGW 20 CC 1R 160.** El carril tiene 160 mm de longitud. Éste va colocado en el soporte de la Ilustración 8, encajado en la ranura que vemos y atornillado en los agujeros.

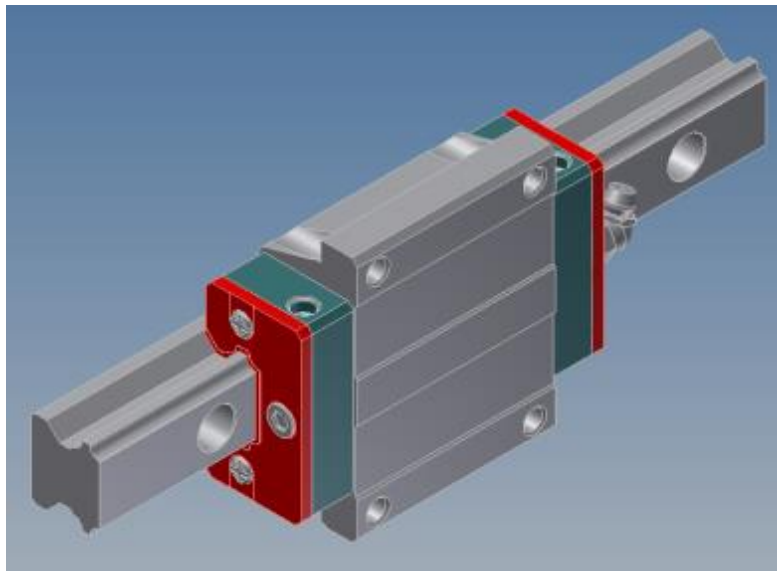


Ilustración 21: Carril y patín HGW 20 CC 1R 160.

- **Guía y 2 patines HGH 20 CA 2R 440.** El carril tiene 440 mm de longitud. Va colocado encima de la placa base y los patines dirigen a la pieza Porta-rodamientos (Ilustración 10).

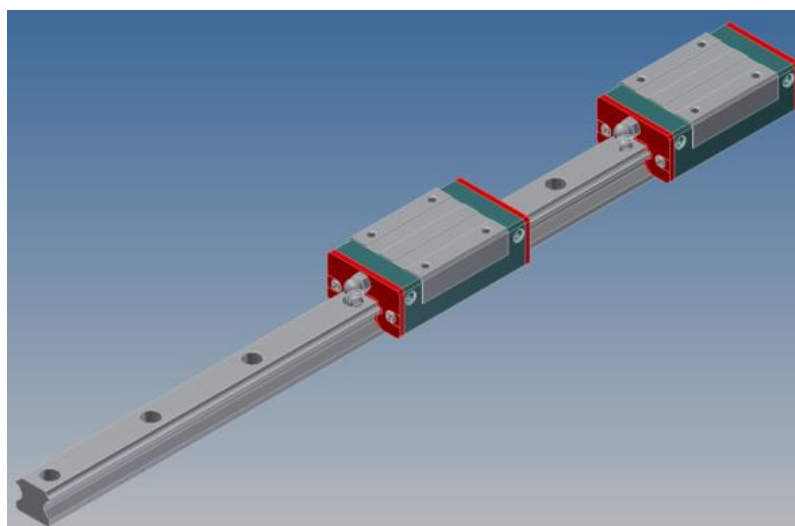
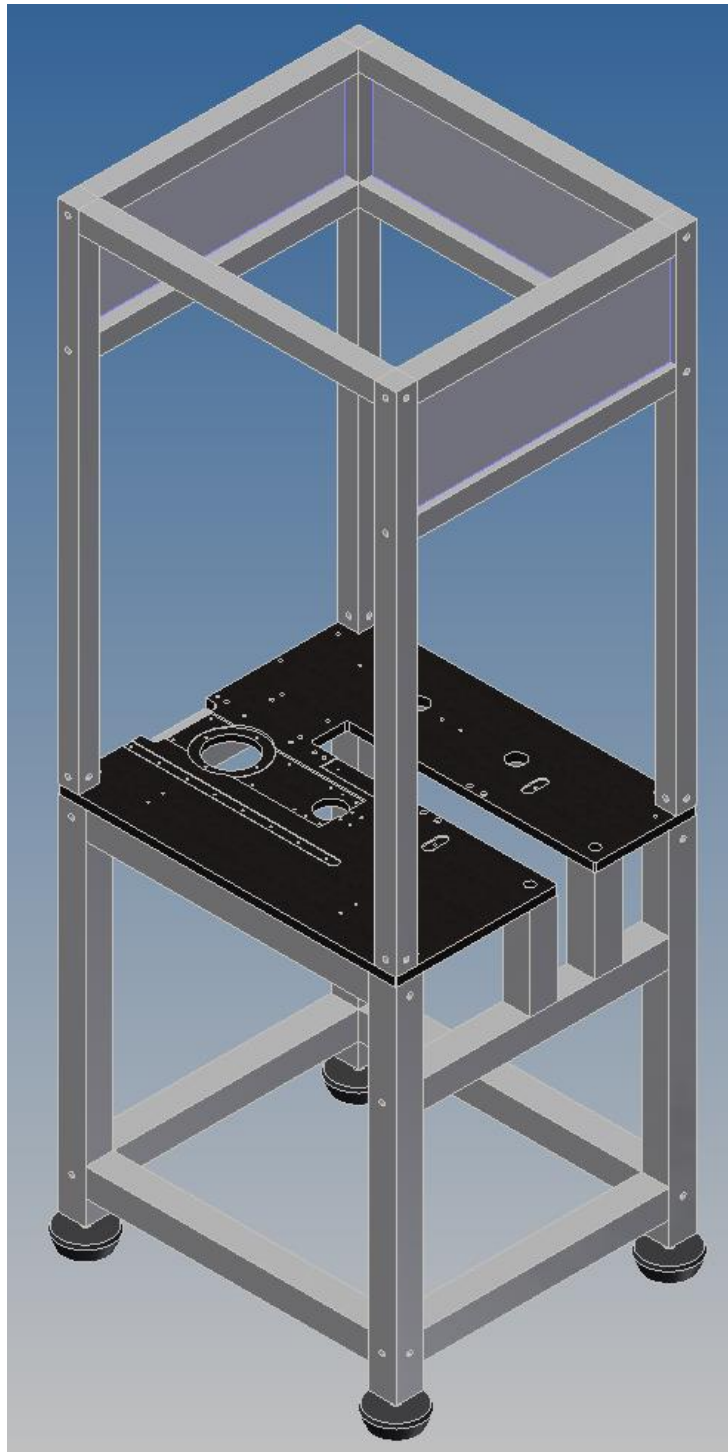


Ilustración 22: Carril y 2 patines HGH 20 CA 2R 440.

Por último y no menos importante, tuve que diseñar el bastidor. El bastidor es el conjunto de perfiles de aluminio que sujetan y dan estética a la máquina. Como he comentado en las especificaciones, del suelo a la placa base tenía que haber 872 mm. Lo vemos en la siguiente ilustración.



**Ilustración 23: Bastidor de la máquina.**

Está hecho con perfiles BOSH 60x60 mm para la parte inferior y perfiles BOSH de 45x45 mm para la parte superior. El marco de las ventanas (que no salen en la imagen) estén hechos de perfil 30x30 mm. Las medidas las encontraremos en el plano 1469-XH463 adjuntado en el anexo.

## 5.2.- Sistema neumático

Antes de poner el esquema neumático voy a explicar los elementos que he utilizado para esta máquina. Son todos elementos de FESTO.

### Cilindros.

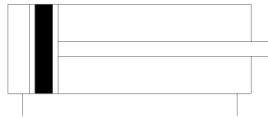


Ilustración 24: Símbolo de cilindro en neumática.

- **DSNU-16-10-P-A.** El DSNU nos indica el tipo de cilindro que es, que en nuestro caso es un cilindro con la camisa redonda. El 16 nos indica el diámetro del émbolo. El 10 nos marca la carrera del pistón en milímetros. La P nos indica que en ambos lados llevan unos anillos elásticos que sirven de amortiguación y la A indica que lleva para detectar la posición del émbolo.



Ilustración 25: Cilindro DSNU.

Tabla 1: Hoja de datos del cilindro DSNU-16-10-P-A.

Característica	Propiedades
Fecha de entrega:	→ Indicación
Carrera	10 mm
Diámetro del émbolo	16 mm
Rosca del vástago	M6
Amortiguación	P: amortiguación por tope elástico/placa a ambos lados
Posición de montaje	indistinto
Corresponde a la norma	CETOP RP 52 P ISO 6432
Extremo del vástago	Rosca exterior
Construcción	Émbolo Vástago Camisa del cilindro
Detección de la posición	para sensores de proximidad
Variantes	vástago simple
Presión de funcionamiento	1 ... 10 bar
Modo de funcionamiento	de doble efecto
Fluido	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando	Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento)
Clase de resistencia a la corrosión KBK	2
Temperatura ambiente	-20 ... 80 °C
Homologación	Germanischer Lloyd
Energía del impacto en las posiciones finales	0,15 J
Fuerza teórica con 6 bar, retroceso	103,7 N
Fuerza teórica con 6 bar, avance	120,6 N
Masa móvil con carrera de 0 mm	23 g
Peso adicional por 10 mm de carrera	4,6 g
Peso básico con carrera de 0 mm	89,9 g
Masa adicional por 10 mm de carrera	2 g
Tipo de fijación	con accesorios
Conexión neumática	M5
Indicación sobre el material	Conforme con RoHS
Información sobre el material de la tapa	Aleación forjable de aluminio Anodizado incoloro
Información sobre el material de las juntas	TPE-U(PU) NBR
Información sobre el material del vástago	Acero inoxidable de aleación fina
Información sobre el material de la camisa del cilindro	Acero inoxidable de aleación fina

- **DSNU-25-150-PPV-A.** Estos cilindros serán del mismo tipo que los anteriores pero con algunas variaciones. El émbolo es de 25 mm y tiene una carrera de 150 milímetros. Además la amortiguación es neumática y ajustable en ambos extremos.



Ilustración 26: Cilindro DSNU.

Tabla 2: Hoja de datos del cilindro DSNU-25-150-PPV-A.

Característica	Propiedades
Fecha de entrega:	→ Indicación
Carrera	150 mm
Diámetro del émbolo	25 mm
Rosca del vástago	M10x1,25
Amortiguación	PPV: amortiguación neumática regulable a ambos lados
Posición de montaje	indistinto
Corresponde a la norma	ISO 6432 CETOP RP 52 P
Extremo del vástago	Rosca exterior
Construcción	Camisa del cilindro Vástago Émbolo
Detección de la posición	para sensores de proximidad
Variantes	vástago simple
Presión de funcionamiento	1 ... 10 bar
Modo de funcionamiento	de doble efecto
Fluido	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando	Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento)
Clase de resistencia a la corrosión KBK	2
Temperatura ambiente	-20 ... 80 °C
Homologación	Germanischer Lloyd
Energía del impacto en las posiciones finales	0,3 J
Carrera de amortiguación	17 mm
Fuerza teórica con 6 bar, retroceso	247,4 N
Fuerza teórica con 6 bar, avance	294,5 N
Masa móvil con carrera de 0 mm	71 g
Peso adicional por 10 mm de carrera	11 g
Peso básico con carrera de 0 mm	238 g
Masa adicional por 10 mm de carrera	6 g
Tipo de fijación	con accesorios
Conexión neumática	G1/8
Indicación sobre el material	Conforme con RoHS
Información sobre el material de la tapa	Aleación forjable de aluminio Anodizado incoloro
Información sobre el material de las juntas	NBR TPE-U(PU)
Información sobre el material del vástago	Acero inoxidable de aleación fina
Información sobre el material de la camisa del cilindro	Acero inoxidable de aleación fina

- **DGC-K-25-190-PPV-A-GK.** Los cilindros DGC son aquellos que no tienen vástago. La K nos indica que la guía que lleva incorporada es compacta. Es opcional ponerla pero en nuestro caso es obligatoria ya que necesitamos mucha precisión. El 25 nos indica el diámetro del émbolo en milímetros y el 190 la longitud de la carrera en milímetros. La amortiguación (PPV) es neumática y ajustable en ambos extremos. La A significa que necesitamos que detecte la posición donde está y la GK nos dice que el vástago es estándar.



Ilustración 27: Cilindro DGC.

Tabla 3: Hoja de datos del cilindro DGC-K-25-190-PPV-A-GK

Característica	Propiedades
Carrera	1 ... 8.500 mm
Diámetro del émbolo	25 mm
Amortiguación	PPV: amortiguación neumática regulable a ambos lados
Posición de montaje	indistinto
Detección de la posición	para sensores de proximidad
Variantes	Émbolo prolongado Conexión de aire comprimido en ambos lados Émbolo estándar
Presión de funcionamiento	2 ... 8 bar
Modo de funcionamiento	de doble efecto
Categoría ATEX para gas	II 2G
Tipo de protección contra explosión de gas	c T4 X
Categoría ATEX para polvo	II 3D
Tipo de protección contra explosión por polvo	c 120°C X
Temperatura ambiente con riesgo de explosión	-10°C ≤ Ta ≤ +60°C
Fluido	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:-:-]
Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando	Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento)
Marca CE (ver declaración de conformidad)	según la normativa UE sobre protección contra explosión (ATEX)
Clase de resistencia a la corrosión KBK	1
Temperatura ambiente	-10 ... 60 °C
Carrera de amortiguación	18 mm
Fuerza teórica con 6 bar, retroceso	295 N
Fuerza teórica con 6 bar, avance	295 N
Conexiones alternativas	ver dibujo técnico del producto
Tipo de fijación	con accesorios
Indicación sobre el material	Conforme con RoHS
Información sobre el material de la tapa	Fundición inyectada de aluminio
Información sobre el material de las juntas	NBR TPE-U(PU)



- **DSBC-50-60-PPV-A.** Los cilindros DSBC son aquellos cuya camisa es cuadrada. El 50 indica el diámetro del émbolo en milímetros y el 60 nos dice la carrera del pistón en milímetros. Para la amortiguación (PPV) es neumática y ajustable en ambos lados y la A marca la posición en la que está el vástago.



Ilustración 28: Cilindros DSBC.

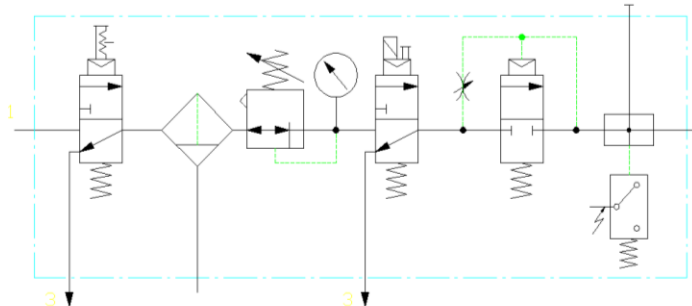
Tabla 4: Hoja de datos del cilindro DSBC.

Característica	Propiedades
Fecha de entrega:	→ Indicación
Carrera	60 mm
Diámetro del émbolo	50 mm
Rosca del vástago	M16x1,5
Amortiguación	PPV: amortiguación neumática regulable a ambos lados
Posición de montaje	indistinto
Corresponde a la norma	ISO 15552
Extremo del vástago	Rosca exterior
Construcción	Tubo perfilado Vástago Émbolo
Detección de la posición	para sensores de proximidad
Variantes	vástago simple
Presión de funcionamiento	0,4 ... 12 bar
Modo de funcionamiento	de doble efecto
Fluido	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando	Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento)
Clase de resistencia a la corrosión KBK	2
Temperatura ambiente	-20 ... 80 °C
Energía del impacto en las posiciones finales	1 J
Carrera de amortiguación	22 mm
Fuerza teórica con 6 bar, retroceso	990 N
Fuerza teórica con 6 bar, avance	1.178 N
Masa móvil con carrera de 0 mm	365 g
Peso adicional por 10 mm de carrera	56 g
Peso básico con carrera de 0 mm	1.190 g
Masa adicional por 10 mm de carrera	25 g
Tipo de fijación	con rosca interior a elegir: con accesorios
Conexión neumática	G1/4
Indicación sobre el material	Conforme con RoHS
Información sobre el material de la tapa	Fundición inyectada de aluminio recubierto
Información sobre el material de las juntas	TPE-U(PU)
Información sobre el material del vástago	Acero de aleación fina
Información sobre el material de la camisa del cilindro	Aleación forjable de aluminio Anodizado deslizante



### Unidad de control LFR-1/4-D-MINI-KG

Está compuesto por una unidad de válvula de cierre manual, filtro y válvula de regulación, válvula de cierre 24 VDC, válvula de arranque progresivo, derivador con presostato sin conector y escuadra de fijación.



**Ilustración 29: Símbolo de la unidad de control.**

Estos elementos que componen la unidad de control, vienen de fábrica unidos y se encargan de controlar el sistema neumático de la máquina.

Cada elemento tiene una función específica:

- **Unidad de válvula de cierre manual:** Se utiliza para cerrar el aire que va al circuito manualmente.
- **Filtro:** Retira partículas de polvo, aire o aceite que pueden haber entrado del compresor (está instalado en la instalación general de la empresa, no dentro de máquina).
- **Válvula de regulación:** Con ella regulamos el caudal y la presión que queremos que entre a máquina, es decir, a lo mejor la instalación de la empresa es de 10 bares pero en nuestra máquina sólo queremos 6.
- **Válvula de cierre 24 VDC:** Esta válvula va conectada con la seta de emergencia. Al pulsar la seta, la válvula de cierre se activa y corta la entrada de aire. Esto se pone por norma, ya que en caso de emergencia la máquina se tiene que quedar sin aire y sin electricidad.
- **Válvula de arranque progresivo:** Se encarga de dejar pasar el aire poco a poco tras una parada de emergencia para evitar impactos de los cilindros con piezas, partes de máquinas o personas tras darle marcha a ésta. En una parada de emergencia, los cilindros se quedan en la última posición en la que estaban cuando nosotros pulsamos la "seta" (parada de emergencia).
- **Derivador con presostato sin conexión:** El presostato lee la presión de la máquina.

- **Escuadra de fijación:** Es la encargada de unir todos los elementos anteriores entre ellos y permite sujetarlos a una parte de la máquina.



Ilustración 30: Unidad de control LFR-D-MINI-KG

### Válvulas

Por último vamos a explicar las válvulas que vamos a utilizar.

- **Válvula 5/2 monoestable MFH-5/2-D-1-FR-C.** Esta válvula es de 5 vías pilotada por una bobina y retorno por muelle. La ventaja que tiene es que cuando dejamos de mandarle señal a la bobina, ésta vuelve a su posición inicial automáticamente.

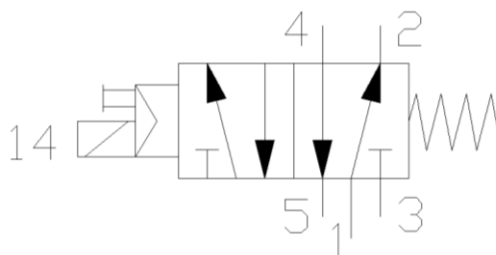


Ilustración 31: Símbolo de válvula 5/2 monoestable.

- **Válvula 5/2 biestable JMFH-5/2-D-1C-24V.** Esta válvula es de 5 vías pilotada por dos bobinas. Se utiliza, en su mayoría, para gobernar cilindros de doble efecto.

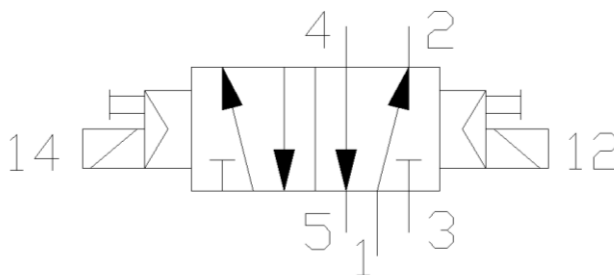


Ilustración 32: Símbolo de la válvula 5/2 biestable.

Además necesitamos **5 placas base** para sujetar las válvulas y **2 placas finales**, cuyas referencias son **NAV-1/4-1C-ISO** y **NEV-1DA/DB-ISO**, respectivamente.

Biselar Aristas  
Marcar N° de plano



En el esquema se representan los cilindros en su estado inicial, por lo que observamos que el cilindro del paso a paso permanece, de normal, fuera para frenar los rodamientos.

En cambio, los otros 5 cilindros permanecen recogidos ya que hasta que no llega el aro, éste no se mueve.

El esquema neumático lo tenemos ampliado en el plano 1469-N001, para poder verlo con más detalle.

### 5.3.- Sistema eléctrico/electrónico.

El sistema eléctrico de la máquina no fue diseñado por mí en la empresa, ya que como he explicado anteriormente en otros apartados, ésta cuenta con un departamento de ingenieros eléctricos y programadores de autómatas.

Los planos eléctricos son los siguientes:

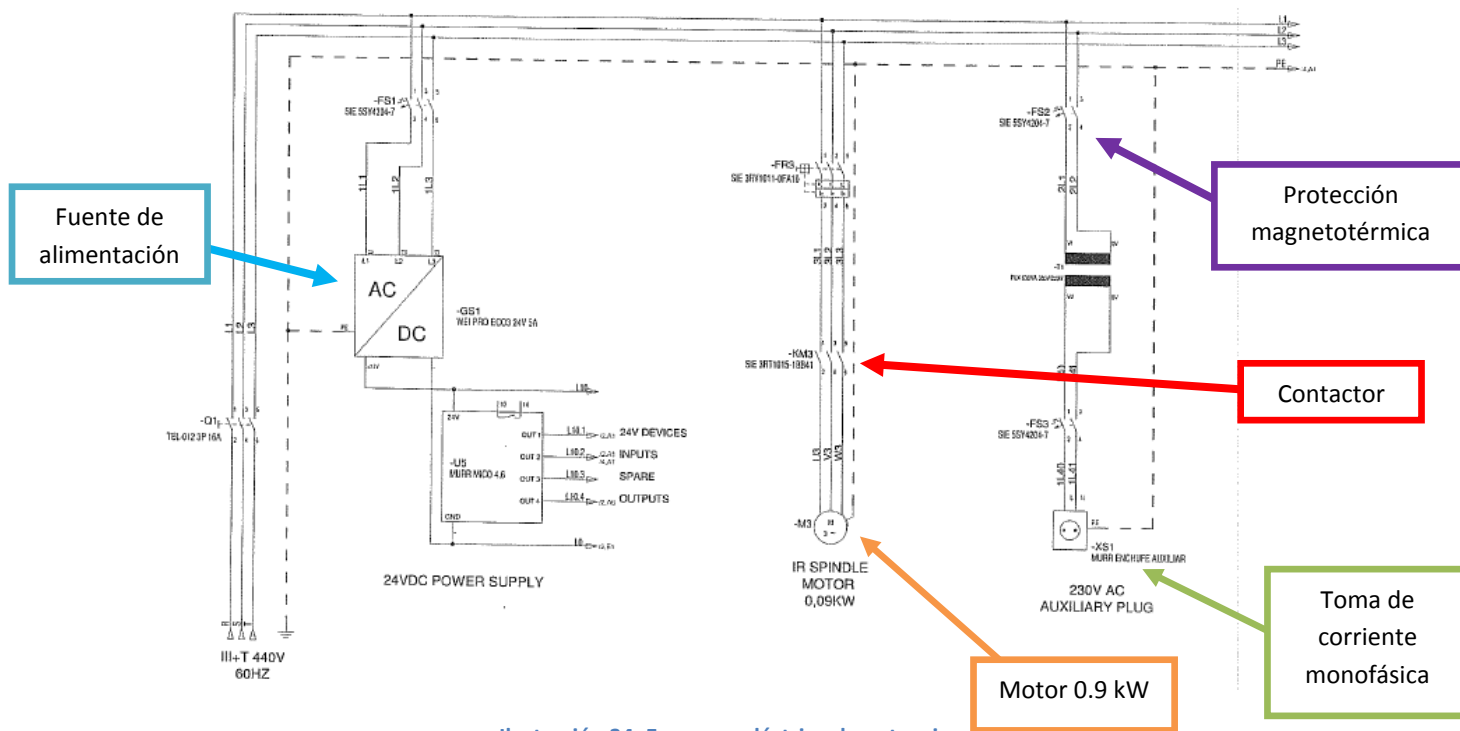


Ilustración 34: Esquema eléctrico de potencia.

A este esquema se le denomina “de potencia” porque en el observamos cómo van conectados los elementos de la máquina que consumen potencia, tanto el motor (de 0,9 kW de potencia) como un enchufe auxiliar.

En el esquema podemos ver que la electricidad proviene de un enchufe o de una fuente de alimentación de 440 V. Todos los elementos van conectados a dicha fuente pero los relés son gobernados por 24 V, por ello es necesario un convertidor de corriente alterna (AC) a corriente continua (DC).

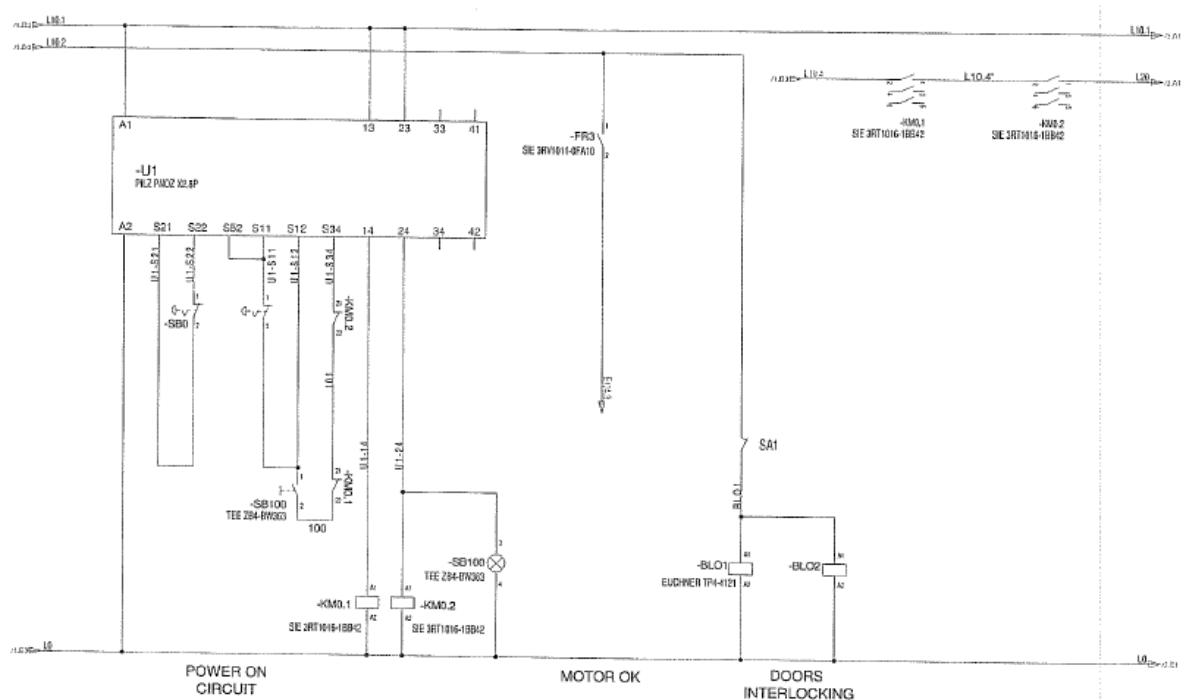


Ilustración 35: Esquema eléctrico de mando.

En este esquema tenemos representado todas las salidas del Autómata PLC Siemens que se encargan de controlar todos los dispositivos eléctricos de la máquina. Estas salidas van conectadas con los relés, los cuales permiten el paso de electricidad cuando están cerrados, y estos van conectados con los aparatos de potencia (motor,...). Las entradas son los detectores que se ponen en máquina para saber si hay rodamiento en el lugar indicado.

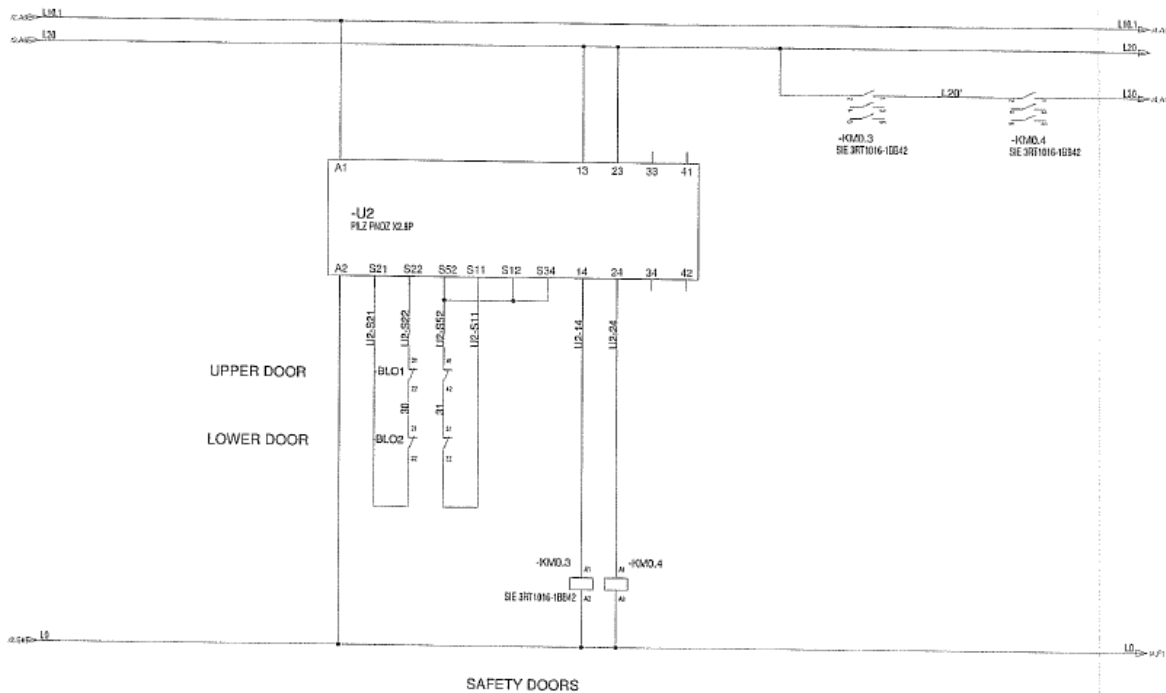
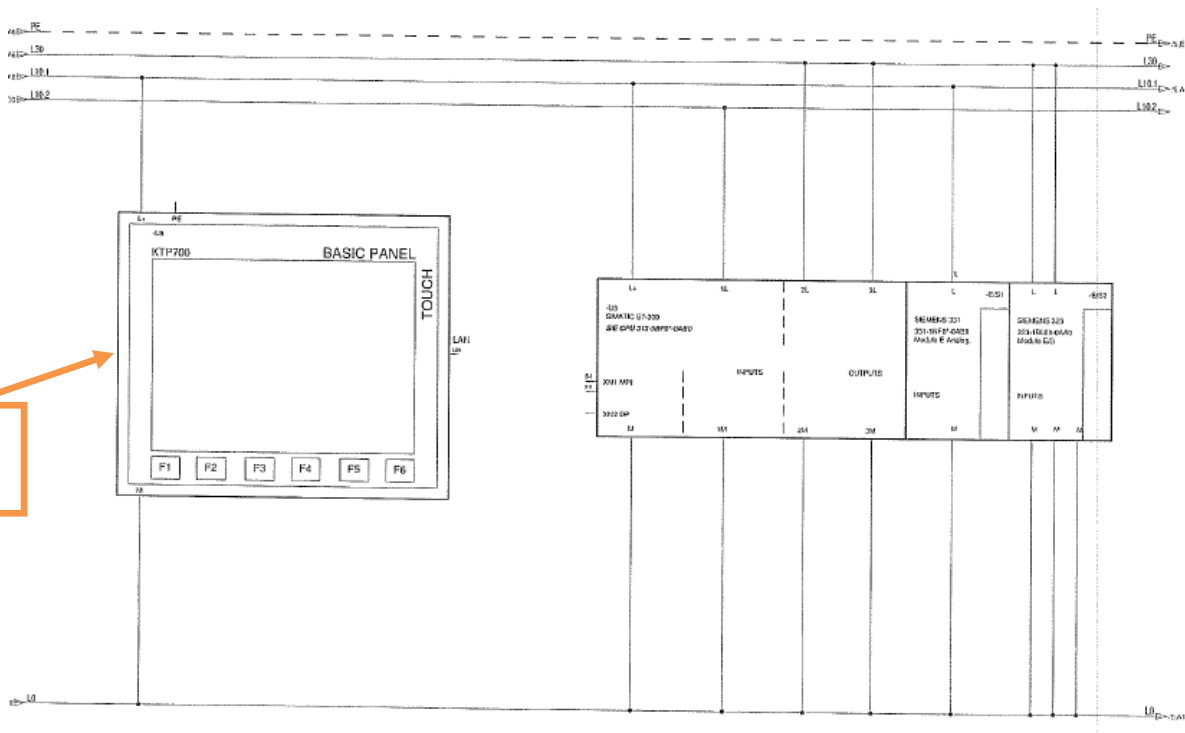


Ilustración 36: Esquema eléctrico de mando.

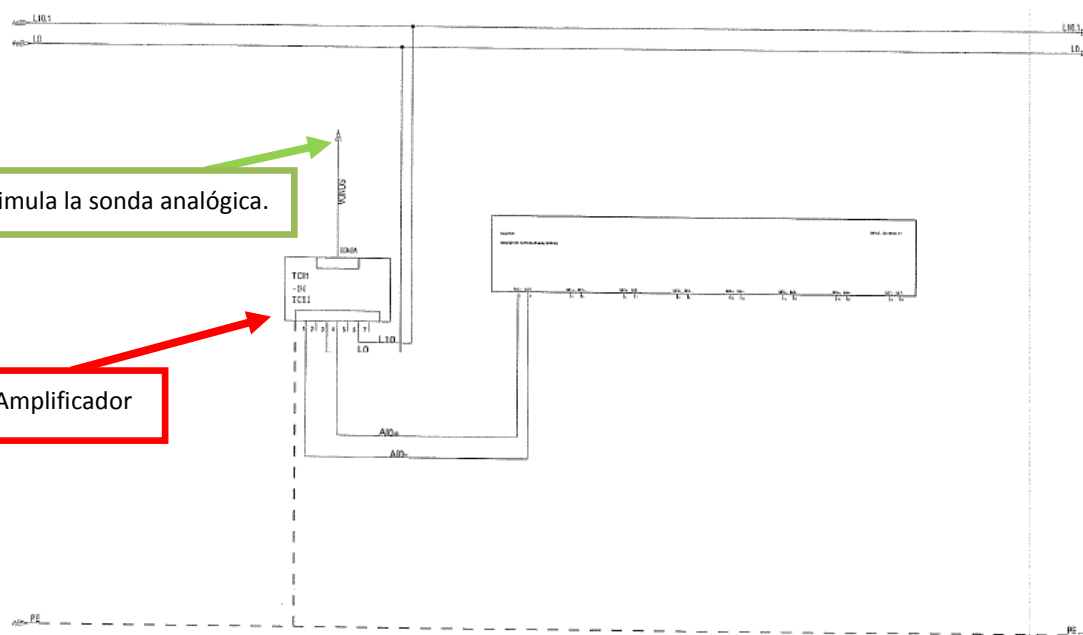
En la Ilustración 36 se está representando otras conexiones al PLC.



Pantalla de control

Ilustración 37: Esquema eléctrico de la pantalla de control.

Como su nombre indica, en el esquema observamos cómo va conectada la pantalla de control (situada al alcance del operario) y como va interrelacionada con los demás elementos.



La flecha simula la sonda analógica.

Amplificador

Ilustración 38: Esquema eléctrico de la sonda analógica.

En la Ilustración 38, vemos en la imagen un amplificador conectado al PLC y a su vez a una sonda analógica la cual nos va a permitir medir la tolerancia entre los rodamientos.

Esa distancia que se desplaza la sonda es muy pequeña por lo que transmite una señal en miliamperios y como el Autómata no está preparado para leer esas señales tan pequeñas debemos utilizar el amplificador para pasar esos miliamperios a Amperios.



#### **5.4.- Integración.**

A la hora de la construcción de la máquina se estipularon unos tiempos determinados en cada proceso para llegar a la fecha prevista de entrega de máquina.

Para la fabricación completa de la máquina hay que realizar 6 procesos que deben de ir solapándose unos con otros para que todo esté disponible en la fecha de entrega. Esos procesos son los siguientes:

1. Diseño de la máquina: proceso que le corresponde a los trabajadores de oficina técnica (en este caso a mi) y que consiste en la elaboración de todas las piezas (planos, dimensiones, tratamientos,...), del sistema neumático e hidráulico de la máquina si lo hubiera y de pedir todos los elementos comerciales que tenga la máquina, además de recepcionarlos y almacenarlos debidamente.
2. Mecanizado de las piezas: proceso de fabricación de todas las piezas. Las piezas suelen seguir un mismo patrón, independientemente de si es para mecanizar en torno o en fresadora. Los pasos a seguir para cada pieza son: soldadura (si es necesario), mecanizado en torno o fresadora (dependiendo de la forma de la pieza), taladrado y roscado, tratamientos superficiales y rectificado (si corresponde).
3. Programación: proceso del que se encarga el departamento de ingenieros eléctricos y electrónicos, cuya función es diseñar los esquemas eléctricos de la máquina y hacer el programa que será instalado en el Autómata PLC Siemens encargado de gobernar los movimientos de la máquina.
4. Montaje mecánico: proceso que realiza un técnico de taller especializado que consiste en el montaje mecánico, es decir, colocar en su posición correspondiente, ayudándose de los planos del diseñador, todas las piezas y elementos neumáticos.
5. Montaje eléctrico: proceso que realizan los eléctricos de la empresa, encargados de montar toda la electricidad de la máquina siguiendo los esquemas elaborados por los ingenieros electrónicos. Además se encargan de colocar y conectar todos los elementos eléctricos, como pueden ser las botoneras, detectores y otros elementos de este tipo.
6. Puesta a punto: La lleva a cabo un programador y un técnico de montaje mecánico ya que entre los dos se encargan de ajustar todos los componentes de la máquina hasta que ésta cumpla con todas especificaciones acordadas con el cliente.

En el caso de esta máquina se tardó 74 días laborables desde el inicio del diseño hasta la finalización con la puesta a punto. Para ver cómo se solaparon los procesos explicados anteriormente voy a utilizar un esquema representativo.

**Tabla 5: Esquema del proceso de fabricación de la máquina.**

	DÍAS																																																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4						
DISEÑO																																																		
MECANIZADO																																																		
PROGRAMACIÓN																																																		
M. MECÁNICO																																																		
M. ELÉCTRICO																																																		
PUESTA A PUNTO																																																		

Como podemos observar el proceso de diseño duró unos 17 días completos, es decir, 136 horas. Luego se observan 3 días sueltos, de los cuáles el día 21 y el 31 se utilizaron varias horas para la recepción y almacenamiento de elementos comerciales. Además vemos marcado en rojo 1 el día 72 que coincide con un día de la puesta a punto y eso se debe a que hubo que realizar una modificación, por lo que hubo que rediseñar una pieza, de la cual hablaremos en apartados posteriores.

Con color azul tenemos el proceso de mecanizado que como observamos se solapa en varios días con el proceso de diseño y eso se debe a que la máquina se divide en dos partes, lo que se considera máquina (siempre es igual) y utillaje (depende del tipo de rodamiento que se introduzca). Primero saqué a mecanizar lo que era máquina y 2 días más tarde saqué los utillajes para el tipo de rodamiento BTH-1222-A. Finalmente vemos un día, que coincide con el proceso de diseño y se debe a la mecanización de la pieza que fue modificada.

Los programadores se ponen en marcha mientras se están mecanizando las piezas y cuando ya tienen claro cómo va a funcionar la máquina, es decir, no tienen dudas en el esquema neumático (les es explicado por los diseñadores). En ese periodo de tiempo hacen los esquemas eléctricos, para dárselos a los electricistas, y la programación del autómat.

El montaje mecánico se realiza en dos partes. Se utiliza un o dos días para hacer la estructura de la máquina, en este caso, con perfiles de aluminio y cuando ya están todas piezas mecanizadas se procede al montaje completo de la máquina.

Con los electricistas pasa algo parecido, es decir, utilizan varios días para montar el cuadro eléctrico y todo lo que él conlleva, y, una vez que la máquina está completamente montada proceden a conectar todos elementos.

Por último, se realiza la puesta a punto por un programador. Si salen fallos, como en este caso, hay un día que coinciden todos los integrantes del proceso, ya que el diseñador vuelve a rediseñar la pieza, los de mecanizado la fabrican, el montador la monta y el programador junto con el eléctrico sigue ajustando la máquina.

**6.-Presupuesto.**

SKF CHINA				
MÁQUINA MEDIDORA DE RODAMIENTO IR PARA AROS AJ				
Id.	Elemento	Cantidad	Coste unitario	Subtotal
1	<u>Materiales</u>	<u>kg</u>	<u>€/kg</u>	<u>€</u>
	Acero	260	1,5	390,00 €
	Polietileno	2	5	10,00 €
	Aluminio	8	12	96,00 €
	Pintura	2	60	120,00 €
2	<u>Neumática</u>	<u>Nº</u>	<u>€</u>	<u>€</u>
	Unidad LFR 1/4	1	180	200,00 €
	Válvula 5/2 monoestable	1	48,25	48,25 €
	Válvula 5/2 biestable	4	55,75	223,00 €
	Cilindro 16-10-P-A	1	34,22	34,22 €
	Cilindro DSNU-25-150-PPV-A	2	49,16	98,32 €
	Cilindro DGC-K-25-190-PPV-A-GK	1	112,32	112,32 €
	Cilindro DSBC-50-60-PPV-A	1	78,67	78,67 €
	Racorería	1	100	100
3	<u>Horas personal</u>	<u>h</u>	<u>€/h</u>	<u>€</u>
	Diseño	100	40	4.000 €
	Programación	60	42	2.520 €
	Mecanizado	400	38	1.5200 €
	Montaje mecánico	80	38	3.040 €
	Montaje eléctrico	40	38	1.520 €
	Puesta a punto	24	42	1.008 €
4	<u>Tratamientos superficiales</u>	<u>kg</u>	<u>€/kg</u>	<u>€</u>
	Pavonado	250	1,5	375,00 €
	Templado y revenido	10	8	80,00 €
	Anodizado	8	5	40,00 €
5	<u>Material eléctrico</u>	<u>Nº</u>	<u>€</u>	<u>€</u>
	Autómata PLC Siemens	1	450	550,00 €
	Pantalla de control táctil	1	350	400,00 €
	Otros componentes	1	250	600,00 €
6	<u>Transporte (hasta puerto Barcelona)</u>	-	-	1.180,00 €
7	<u>Puesta a punto en China</u>	<u>h</u>	<u>€/h</u>	<u>€</u>
	2 Programadores	40	120	4.800,00 €
	Estancia y dietas	1	550	550,00 €
Total neto				37.373,78 €
25 % Beneficio Industrial				9.343,45 €
<b>TOTAL</b>				<b>46.717,23 €</b>

### 7.- Fabricación de la máquina.

---

La máquina, como ya hemos comentado en apartados anteriores, sigue varios procesos, a su vez, sincronizados para llegar a terminar la construcción en su fecha correspondiente.

En este apartado no voy a volver a comentar el proceso de diseño ya que lo he explicado detalladamente en apartados anteriores.

Por tanto, pasamos al proceso de mecanizado. En dicho proceso se procede a la elaboración de todas las piezas que constituye la máquina (en este caso la máquina se compone de 58 piezas más las piezas que corresponden a los utillajes que se cambian para cada tipo de rodamientos que son 12 piezas). Para esta máquina se estima un tiempo de unos 50 días laborales para la fabricación completa de la máquina.

Para la mecanización de esas piezas pasamos por varios procesos: soldadura, torneado, fresadora y, por último, rectificado en caso de necesitarlo.

#### Soldadura

Hay varios tipos de soldadura a utilizar: por electrodo, TIG o por hilo.

Para nuestra máquina, como todas las piezas que se debían soldar tienen un espesor mayor de 8 mm se utilizó la soldadura por hilo, que consiste en aportar material extra que facilita la unión entre las piezas correspondientes.

#### Mecanizado por fresadora

Las máquinas fresadoras son aquellas que se utilizan para realizar trabajos mecanizados por arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte denominada fresa.

En la empresa Automatizaciones Lamuce S.L. tienen 9 fresadoras, todas ellas de control numérico. Estas fresadoras tienen la ventaja de que puedes hacer un programa con la pieza que quieres realizar y ésta lo hace sola, siempre que ajustemos la cota 0 donde está situada la pieza. De las 9 fresadoras hay 7 de 3 ejes, una de 4 ejes y otra de 5 ejes que permite girar el cabezal en todas direcciones para darle cualquier tipo de forma a la pieza.



Ilustración 39: Fresadora CNC de 3 ejes de 1700x800x800 mm.



Ilustración 40: Fresadora CNC de 4 ejes de 1420x660x610 mm.





Ilustración 41: Fresadora CNC de 5 ejes de 4000x1500x1500 mm.

Con estas máquinas se han realizado la mayoría de las piezas, ya que todas son cuadradas o rectangulares (se pueden ver los planos en el anexo), y además tienen una precisión de 2 centésimas de milímetro. Con ellas se realizan todo tipo de agujeros, además de cajas y chaflanes.

#### Mecanizado en torno.

La empresa tiene 5 tornos, de los cuáles 1 es de control numérico (CNC).

En estos se realizan todas las piezas cilíndricas que lleva la máquina. Estas máquinas tienen una precisión de 3 centésimas de milímetro y pueden llegar a mecanizar piezas de hasta 520 mm de diámetro.



Ilustración 42: Zona de torneado y rectificado.

En la Ilustración 42 observamos 4 tornos y una rectificadora. La rectificadora de piezas cilíndricas es la máquina azul de la izquierda.



Ilustración 43: Torno CNC.

#### Tratamientos.

Tras realizar estos procesos, las piezas estarían ya semi-acabadas ya que solo quedaría darles un tratamiento químico o térmico. Este tratamiento se hace en empresas especializadas.

Los tratamientos más utilizados en la empresa son: pavonado, temple y revenido y anodizado. Aunque también se puede utilizar el sulfurizado para algunas aplicaciones.

En el caso de la máquina medidora de rodamientos utilizamos el pavonado, el temple y revenido y el anodizado.

El pavonado es un tratamiento químico que consiste en la generación de una capa superficial de magnetita, óxido ferroso-diférrico ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), alrededor de las piezas de acero para mejorar su aspecto y evitar su corrosión. A las piezas se les queda un aspecto de color negro. Este tratamiento se utiliza para aceros bajos en carbono como el acero S235 (F-114) o el S275 (F-111).



Ilustración 44: Ejemplo de pieza pavonada.

El temple y revenido es un tratamiento térmico que consiste en calentar la pieza a unos 850°C y luego enfriar con una temperatura controlada (temple). Con eso conseguimos mucha dureza del material. Luego se realiza el revenido, que consiste en calentar la pieza entre 200 ó 300°C para optimizar la tenacidad y reducir la fragilidad de la pieza. Con este tratamiento conseguimos un color gris oscuro brillante. Se realiza en aceros especiales de mejores propiedades que los mencionados en el pavonado. Los aceros que se templean son aceros F-522 o los F-521 (todavía tiene mejores propiedades que el anterior para este tratamiento).



**Ilustración 45: Imagen templada y revenida (flecha roja).**

Las piezas de la máquina que se mandan al templado y revenido son aquellas que están en contacto con los rodamientos o con piezas metálicas en movimiento que pueden producir desgaste.

El anodizado es un tratamiento electroquímico que se realiza a piezas de aluminio y que consiste en introducir dichas piezas en una base de ácido sulfúrico. En el aluminio se crea una capa que se denomina alúmina que es la encargada de evitar la corrosión.



**Ilustración 46: Pieza anodizada.**



Rectificado.

Por último se rectifican las piezas que lo necesiten ya que tras los tratamientos se pueden modificar las tolerancias por las contracciones o dilataciones que éstas sufren.

Para ello, la empresa tiene 3 rectificadoras, una de ellas es para piezas cilíndricas (ilustración 42) o dos rectificadoras para piezas planas (Ilustración 47).



Ilustración 47: Rectificadora plana.

Todas las piezas importantes para la medición de los rodamientos pasan por un control de calidad exhaustivo ya que LAMUCE tiene una habitación climatizada dónde se ubica un mármol con torre de medición MITUTOYO y una máquina tridimensional de CNC.



Ilustración 48: Mármol con torre de medición MITUTOYO.



Ilustración 49: Máquina de medición CNC.

Una vez terminado todo el proceso de mecanizado ya se procede al montaje de la máquina. De ello se encargan los montadores y los electricistas.

### 8.- Verificación de las especificaciones.

Llegado el día 72, la máquina estaba lista para probar, así que lo hicimos. Me puse con el programador que había hecho el programa a pasar rodamientos por la máquina.

Al pasar el primer rodamiento vimos que no llegaba a medir porque el rodamiento no llegaba a tocar al rodamiento patrón, es decir, la pieza 3.720.512 era más larga de lo que debía ser.

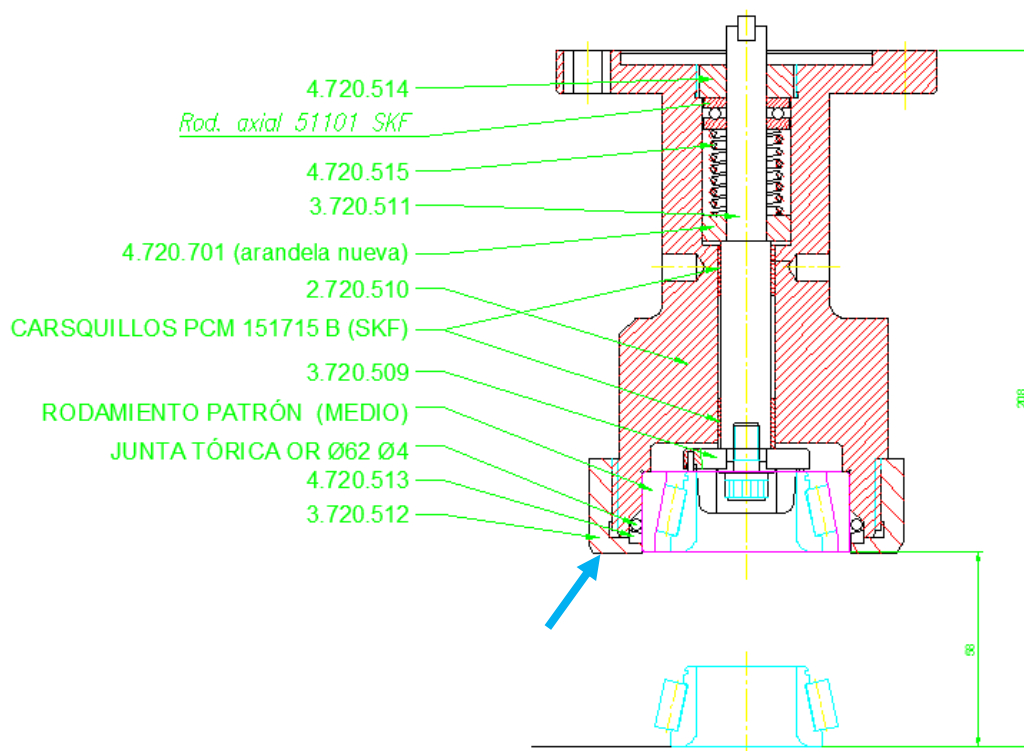


Ilustración 50: Vista seccionada de las piezas afectadas al error.

Así que desmontamos la pieza, corregí el plano y la mandamos a mecanizar. Tuvimos que quitarle 1,5 mm a la parte inferior de la pieza (la señala la flecha azul). La pieza quedó de la siguiente manera:

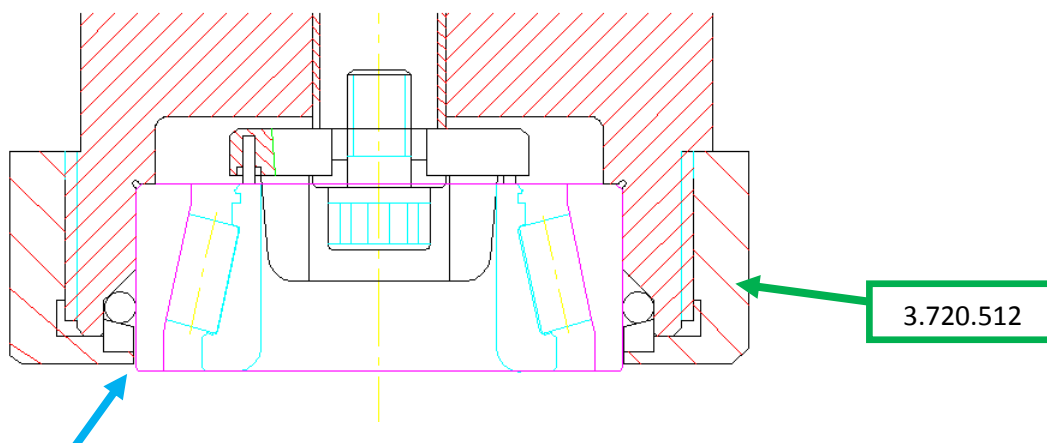


Ilustración 51: Pieza corregida 3.720.512.

Una vez corregido el error, pasamos dos rodamientos 100 veces por la máquina intercalándolos.

Si repasamos las especificaciones, teníamos la altura, el tiempo de ciclo, los cilindros de marca FESTO y el error de la medida.

La altura está bien porque se hizo con el diseño del bastidor y, además, se puede regular con las patas de Egaña de tipo 1 que se colocaron.

Con los cilindros me ceñí a esa marca, así que no había problema.

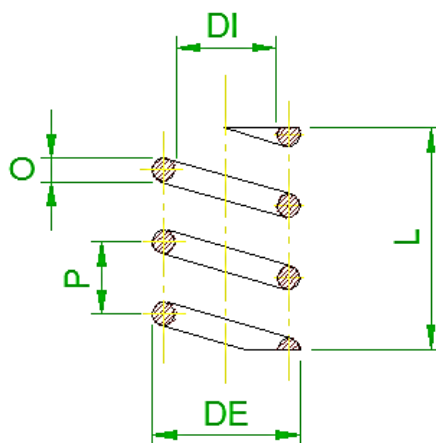
Con respecto al tiempo de ciclo, se midió y era de 4,3 segundos, por lo tanto estaba en perfectas condiciones.

El resultado fue un desastre respecto al error de la tolerancia. Con el primer rodamiento el error, es decir, de la medición más alta que marcaba a la más baja, se nos iba 8 micras; y con el segundo rodamiento el error era de 6,7 micras.

Mirando las especificaciones que nos marcó el cliente veíamos que el error máximo admisible es de 3,5 micras, por lo tanto algo no funcionaba bien.

En ese momento nos pusimos a revisar todos planos a ver si las piezas estaban dentro de las medidas y tolerancias marcadas. Las piezas tenían las dimensiones correctas, por lo tanto, el error estaba en el diseño de alguna pieza.

Observando que las medidas eran tan diferentes para un mismo rodamiento, lo más probable era que el rodamiento no apoyara en su totalidad el uno con el otro, así que la presión que ejercían los dos muelles del conjunto no era la correcta.



Marca	DE	DI	P	L	O	Ubicación
1	20	16	4	26	2	Eje de medición
2	18	13	3	30	2.5	Cruz de elevación

Ilustración 52: Tamaño de los muelles colocados

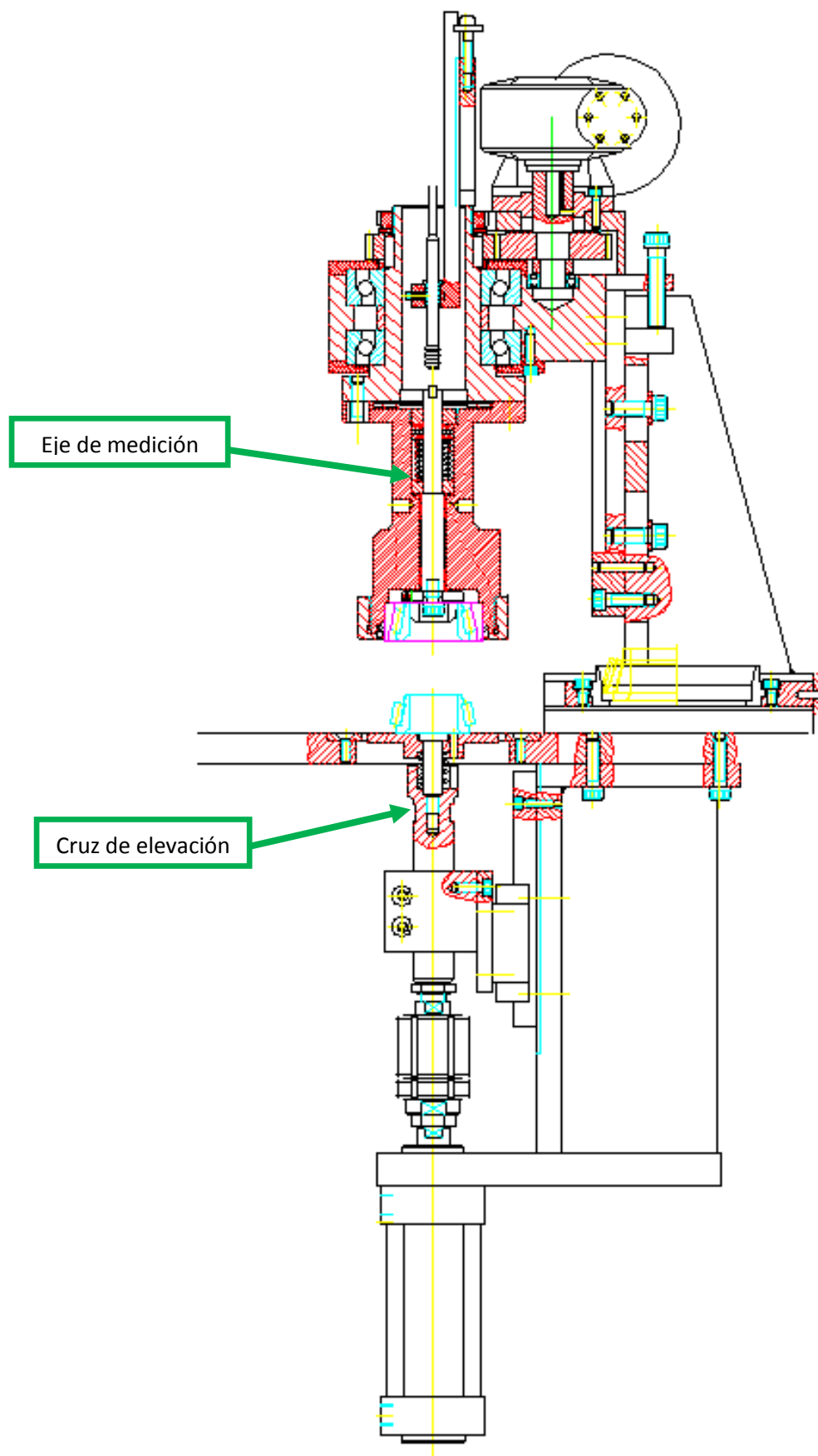
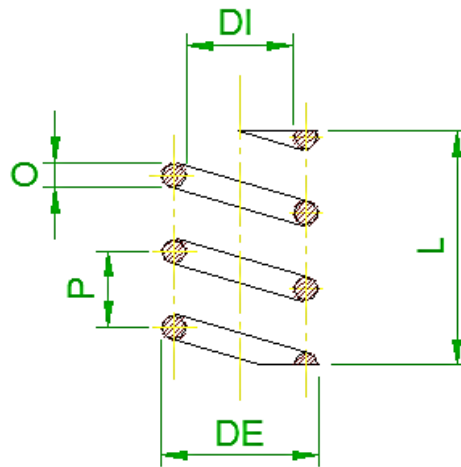


Ilustración 53: Sección de la máquina donde está el error.

Procedimos a cambiar el muelle superior ya que tenía que ser más fuerte que el inferior para que el rodamiento patrón tirara con más fuerza para abajo que el rodamiento a medir. Probamos con la siguiente medida:



Marca	DE	DI	P	L	O	Ubicación
1	22.5	17.5	3.5	26	2.5	Eje de medición
2	18	13	3	30	2.5	Cruz de elevación

**Ilustración 54: Tamaño de los muelles colocados.**

Tras realizar estos cambios volvimos a probar y esta vez la máquina nos daba un error de 2,5 micras. El error estaba corregido.

Tras estas correcciones ya teníamos la máquina preparada para mandársela al cliente.

### 9.- Otros documentos.

Para la entrega en mano de la máquina a nuestros clientes, en este caso SKF de China es necesario entregar una serie de documentos que acrediten que la máquina está en perfectas condiciones de calidad.

Los documentos son la declaración de conformidad y la validación del proyecto.

La Declaración de Conformidad es un documento escrito mediante el cual el fabricante o su representante establecido en la Unión Europea declara que el producto comercializado satisface todos los requisitos esenciales de las distintas Directivas de aplicación.

El documento de Automatizaciones Lamuce S.L. es el siguiente:

<b>DECLARACION DE CONFORMIDAD</b>	
-----------------------------------	---

**EL FABRICANTE:** Automatizaciones LAMUCE, S.L

**DIRECCION:** Polígono Ind. Las Labradas, Parcela 3.15  
31500 Tudela - NAVARRA - ESPAÑA  
Tel.: +34-948 828579 / Fax +34-948 828589

Declara bajo su responsabilidad que la máquina,

**Denominación:** Máquina medidora de rodamientos AJ.

**Modelo:** Para rodamientos BTH-1222-A.

**Número de serie:** 12959

**Año de fabricación:** 2015

Se halla en conformidad con la normativa europea de seguridad de las maquinas, según el siguiente detalle:

- |                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>0) RD 286/2006</b> | <b>Real Decreto sobre la protección de la salud</b> y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la <b>exposición al ruido</b> .  |
| <b>1) 2006/42/CE</b>  | <b>Directriz de la Unión Europea de máquinas</b> , ratificada por España el 10 de octubre de 2008 según RD 1644/2008, vigente desde diciembre de 2009.  |
| <b>2) CE98/13/CE</b>  | <b>Directiva del parlamento Europeo y del consejo</b> , del 12 de febrero de 1998 relativa a los equipos terminales de telecomunicaciones y a los equipos y estaciones terrenas de comunicaciones por satélite, incluido el reconocimiento mutuo de su conformidad. |
| <b>3) 2006/95/CE</b>  | Reglamento de baja tensión y anexos.  |
| <b>4) 2004/108/CE</b> | Directiva de compatibilidad Electromagnética.   |



### NORMATIVA APLICADA

- |                                    |  |
|------------------------------------|--|
| <b>5) EN ISO 12100:2012</b>        | Seguridad de las maquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación y reducción del riesgo.                                     |
| <b>6) EN 60204-1:2007/A1:2009</b>  | Seguridad de las maquinas. Equipo eléctrico de las maquinas. Parte 1: Requisitos generales.  |
| <b>7) UNE-EN ISO 4414:2011</b>     | Seguridad de las maquinas. Requisitos de seguridad para sistemas y componentes para transmisiones hidráulicas y neumáticas; Neumáticas |
| <b>8) UNE-EN ISO 14120</b>         | Seguridad de las maquinas. Requisitos generales para el diseño y construcción de protecciones fijas y móviles.                         |
| <b>9) UNE-EN 1037:1996+A1:2008</b> | Seguridad de las maquinas. Prevención de una puesta a punto intempestiva.  |
| <b>10) UNE-EN ISO 13855:2011</b>   | Seguridad de las maquinas. Posicionamiento de los protectores con respecto a la velocidad de aproximación de partes del cuerpo.        |

En Tudela, 08/04/2015

Fdo.: Javier Lafuente  
Gerente

.....

En la máquina se pone una chapa con las características de la máquina que equivale a la declaración de conformidad.



Ilustración 55: Chapa CE.



El otro documento importante que deben firmar los dirigentes de la empresa Automatizaciones LAMUCE S.L. es la validación del proyecto.

Este documento se puede decir que es un control de calidad a nivel interno de la empresa que miran y supervisan tanto el jefe como el gerente de la empresa.

Automatizaciones <b>LAMUCE</b>	<b>VALIDACIÓN DEL PROYECTO</b>
-----------------------------------	--------------------------------

<b>MÁQUINA</b>	<b>MEDIDORA DE RODAMIENTOS AJ</b>		
<b>CLIENTE</b>	SKF de CHINA		
<b>Nº DE PROYECTO</b>	1469	<b>Nº O.T.</b>	12959

CONJUNTO MECÁNICO		CONJUNTO ELÉCTRICO	
Control de funcionabilidad	OK	Voltaje	400 V
Tiempo de ciclo	8 Seg.	Potencia máxima	4 KW
Geometría de la máquina	OK	Frecuencia	50 Hz
Presión neumática	6 BAR	Consumo del motor	
Control de fugas	OK	Circuito de emergencia	24V DC
Presión hidráulica	---	Sentido de giro del motor	OK
Control de fugas	---	Entradas/Salidas	40 / 32
Bloqueo de seguridad de la máquina	OK	Ensayos en modo manual	OK
		Ensayo en modo automático	OK
Etiqueta CE	OK		
Sistema de transporte para la máquina	OK		
Color de la pintura externa	RAL-7035		
Color de las chapas de protección	RAL-5017		
Revisado y aprobado por:		Revisado y aprobado por:	
Fecha: 09/04/2015		Fecha: 09/04/2016	
ENCARGADO MECÁNICO		ENCARGADO ELÉCTRICO	
OBSERVACIONES			

**Validación:**

**Fecha: 09/04/2015**

**INGENIERO TÉCNICO**

.....

Como observamos, aquí los documentos están sin firmar pero al cliente se le mandan la documentación firmada por las correspondientes personas. Además, como la máquina es para china, se traduce toda la documentación al inglés.

### **10.- Conclusiones**

---

Para concluir, es necesario recalcar que la máquina, tras solucionar todos los problemas que surgieron durante la fase de montaje, funciona a la perfección cumpliendo todas las especificaciones que nos exigía el cliente.

En estos momentos, a día 10 de junio de 2015 la máquina va camino de China, por lo que sólo queda la fase de puesta a punto en su fábrica a la que se desplazarán dos personas de la empresa (un programador y un técnico de montaje).

Allí habrá que realizar las pruebas pertinentes para comprobar que todo funciona correctamente y que no haya lugar a dudas.

Tras la aceptación del cliente, se le entregará la máquina, con su documentación correspondiente, para que realice la función para la que fue encargada, diseñada y construida, que es la medición de rodamientos del tipo BTH-1222-A.

Además la máquina tiene una garantía de 2 años, en caso de que tenga fallos procedentes de la fabricación y no del trabajo a la que esté sometida.

NOTA: Los planos de despiece no los he metido en los anexos porque la empresa Automatizaciones LAMUCE S.L. quiere proteger sus datos. Por lo tanto, sólo añadido los planos de conjunto en los que se ve representado la máquina al completo.

**11.- Fotos de la máquina.**

---

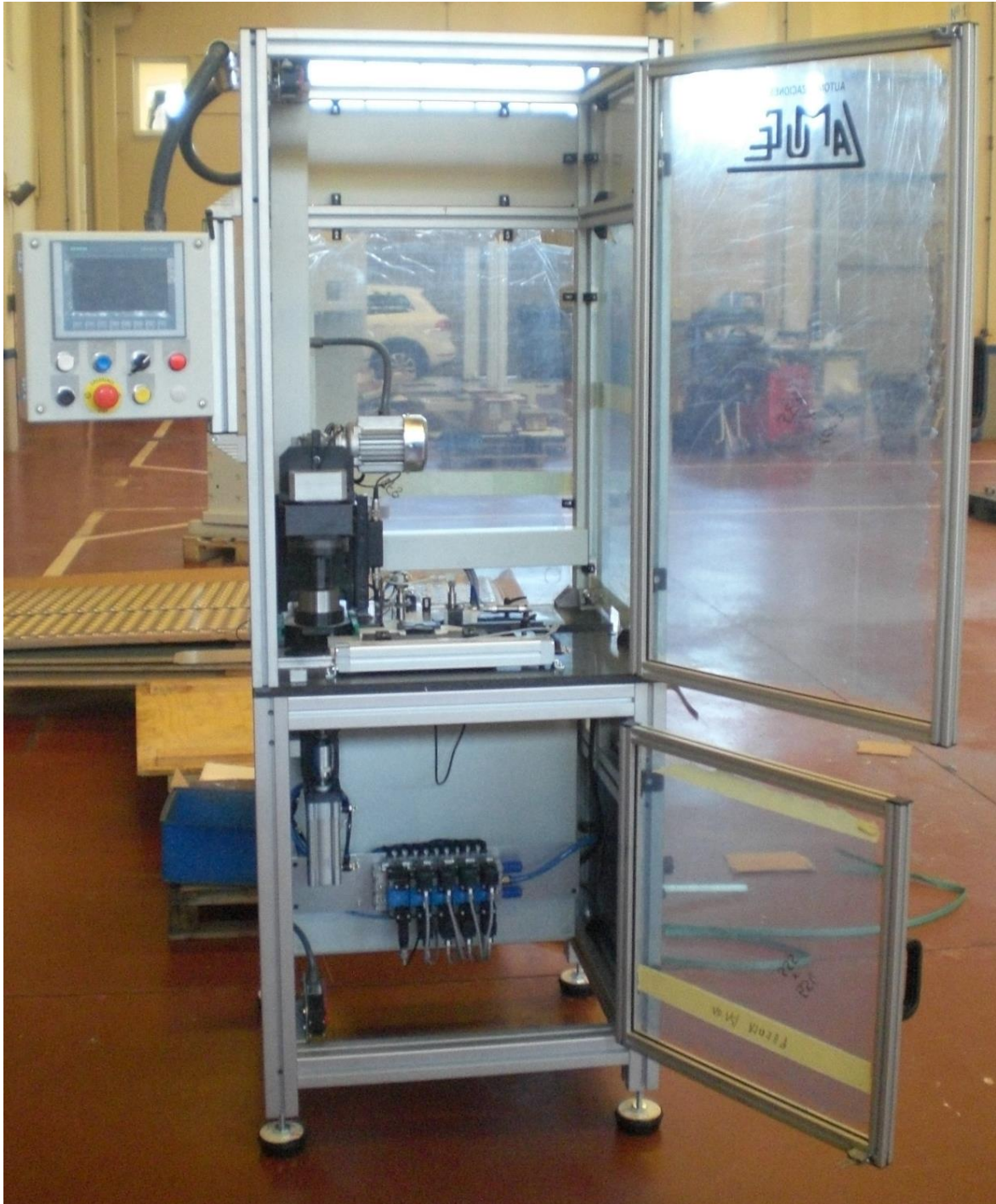


Ilustración 56: Máquina vista por delante.



Ilustración 57: Máquina vista por detrás.





Ilustración 58: Lateral derecho.



Ilustración 59: Lateral izquierdo.





Ilustración 60: Parte superior.

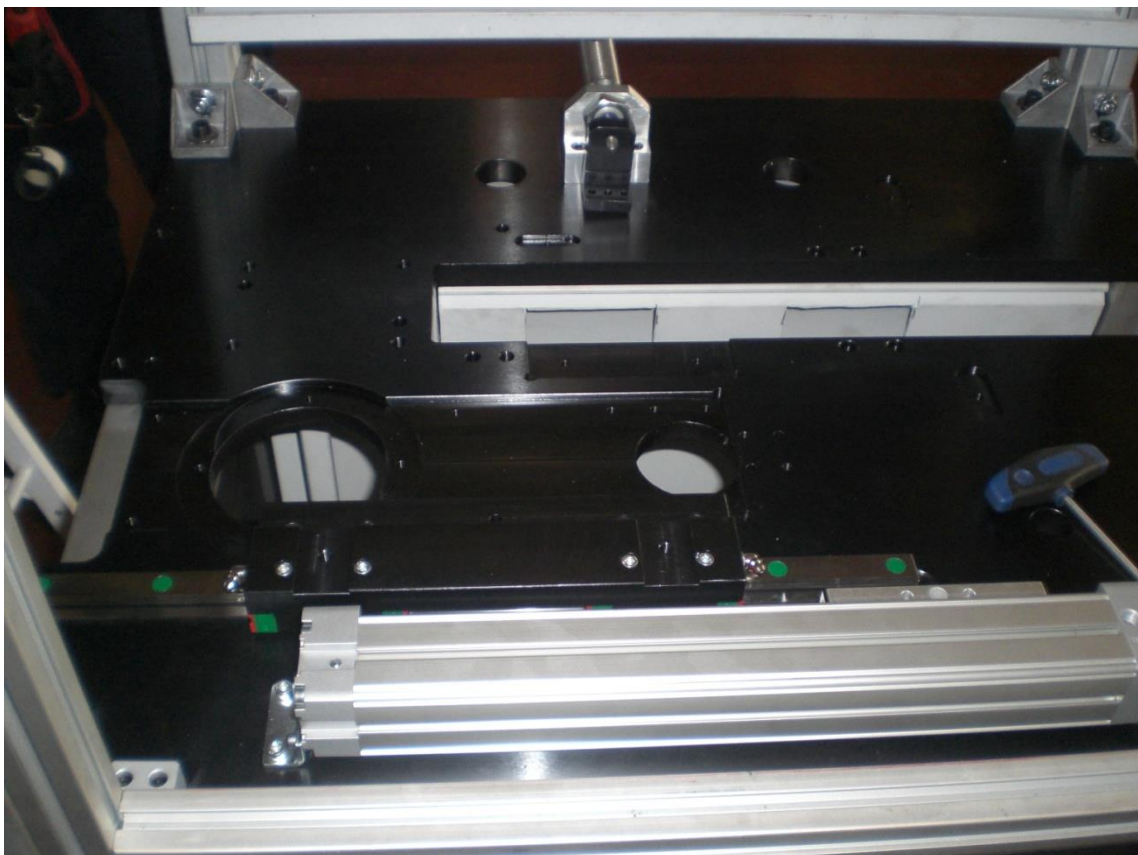


Ilustración 61: Base.



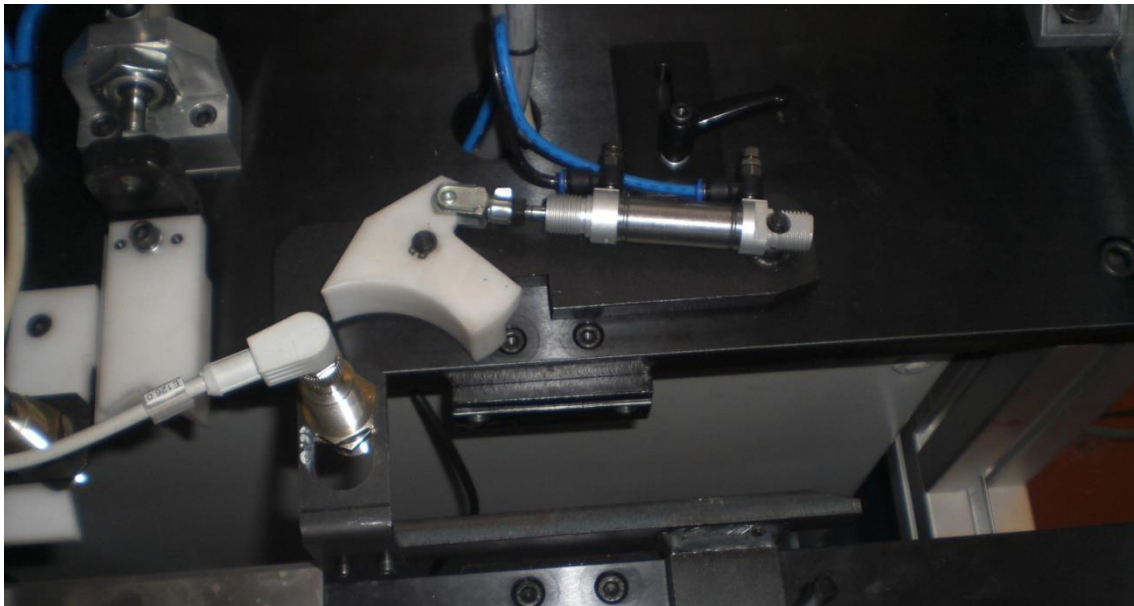


Ilustración 62: Paso a paso.

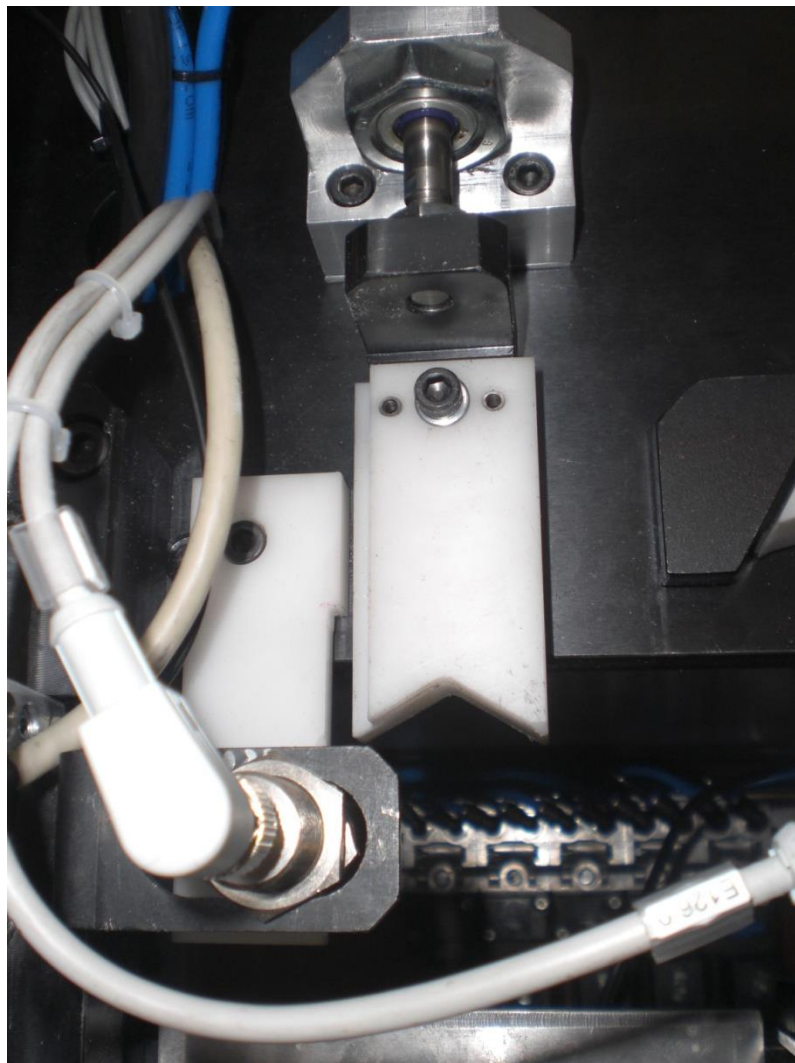


Ilustración 63: Empujador y detector.

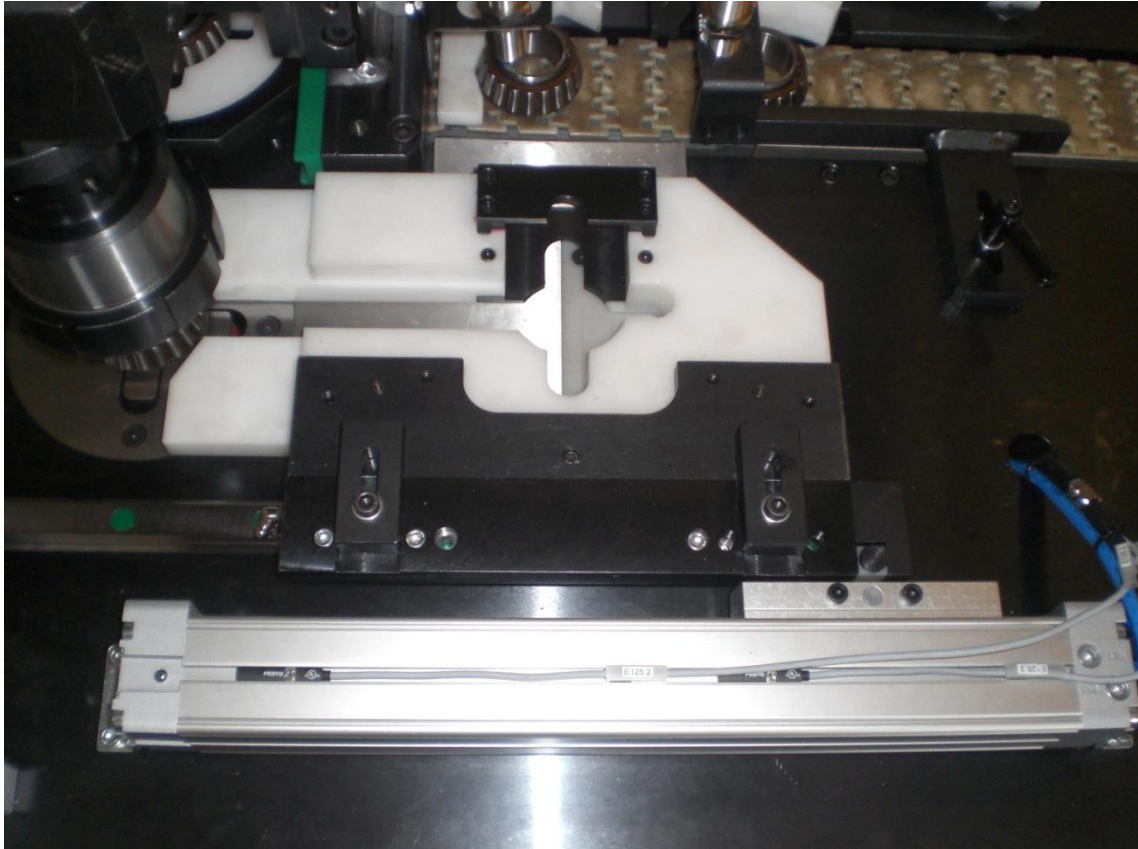


Ilustración 64: Pieza porta-rodamientos y cilindro DGC-25-190-PPV-A-GK.

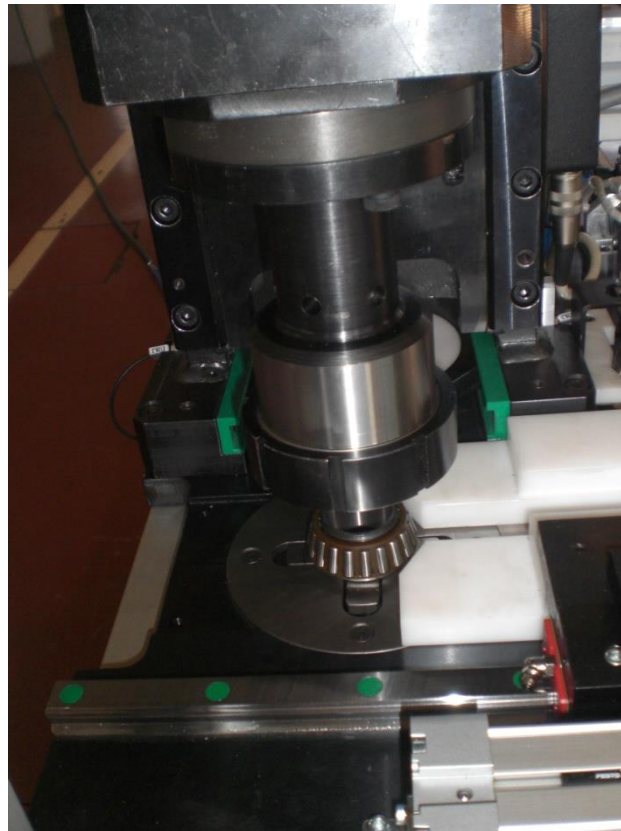


Ilustración 65: Rodamiento en la cruz de elevación.



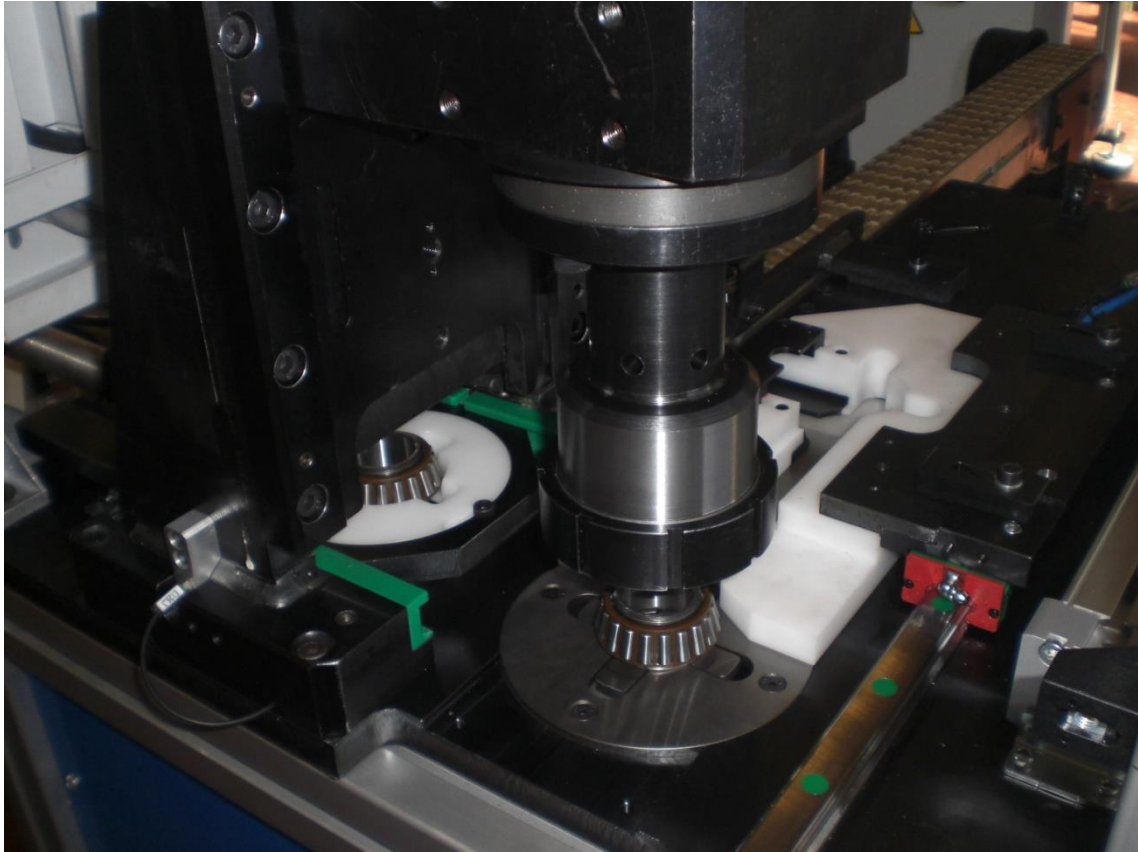


Ilustración 66: Vista isométrica.

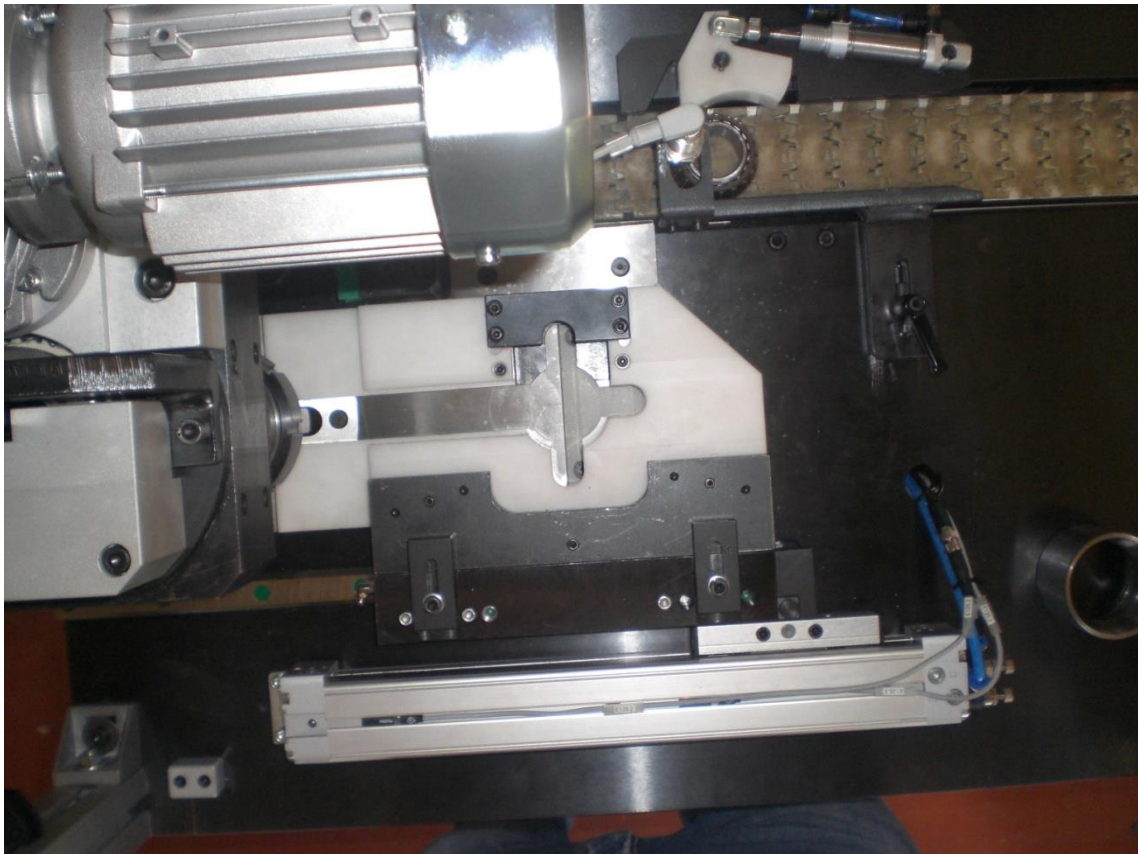


Ilustración 67: Vista superior.

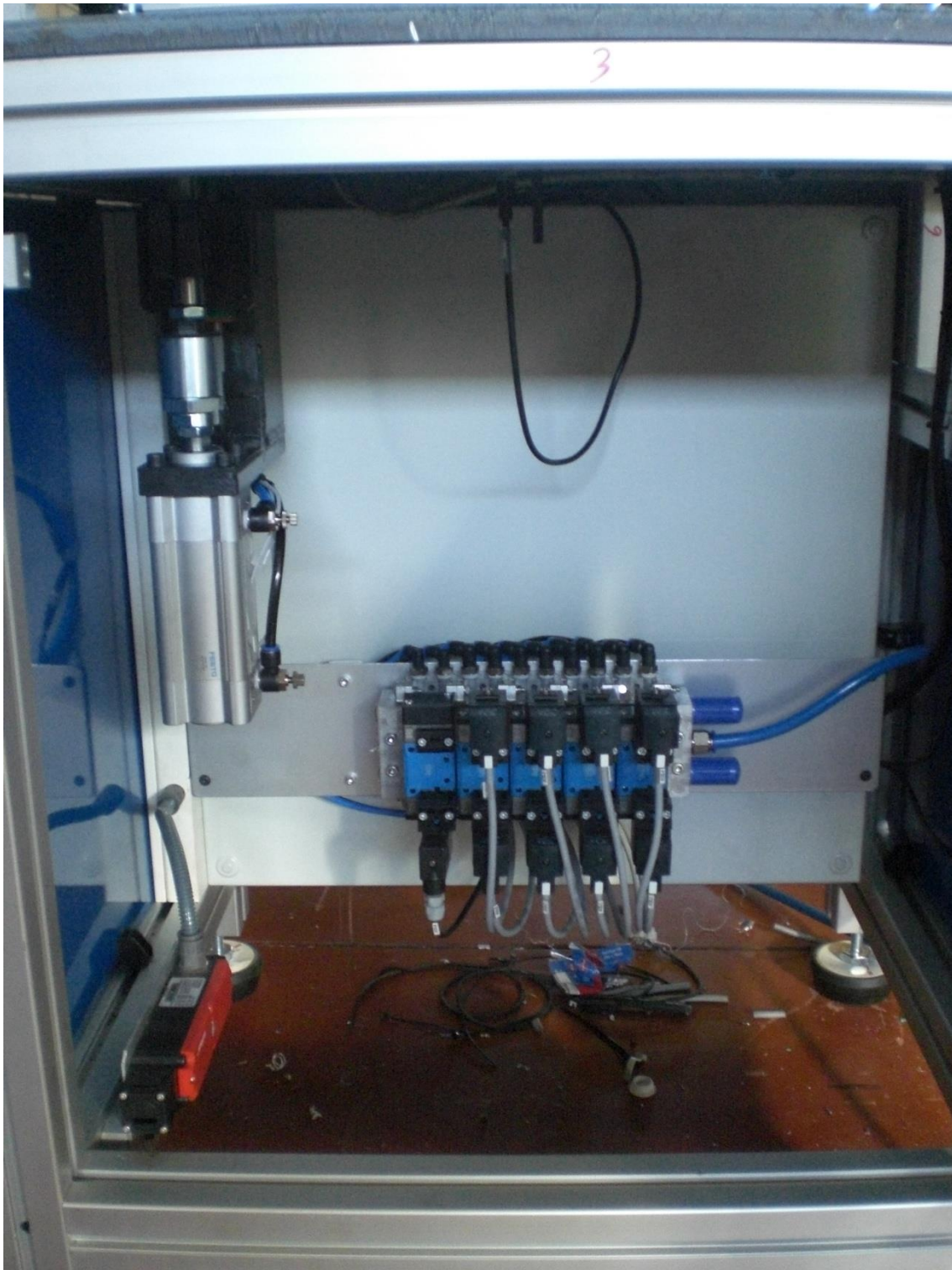


Ilustración 68: Parte inferior de la máquina.





Ilustración 69: Cilindro DSBC-50-60-PPV-A y Rótula FK 16.



Ilustración 70: Exterior del cuadro eléctrico.

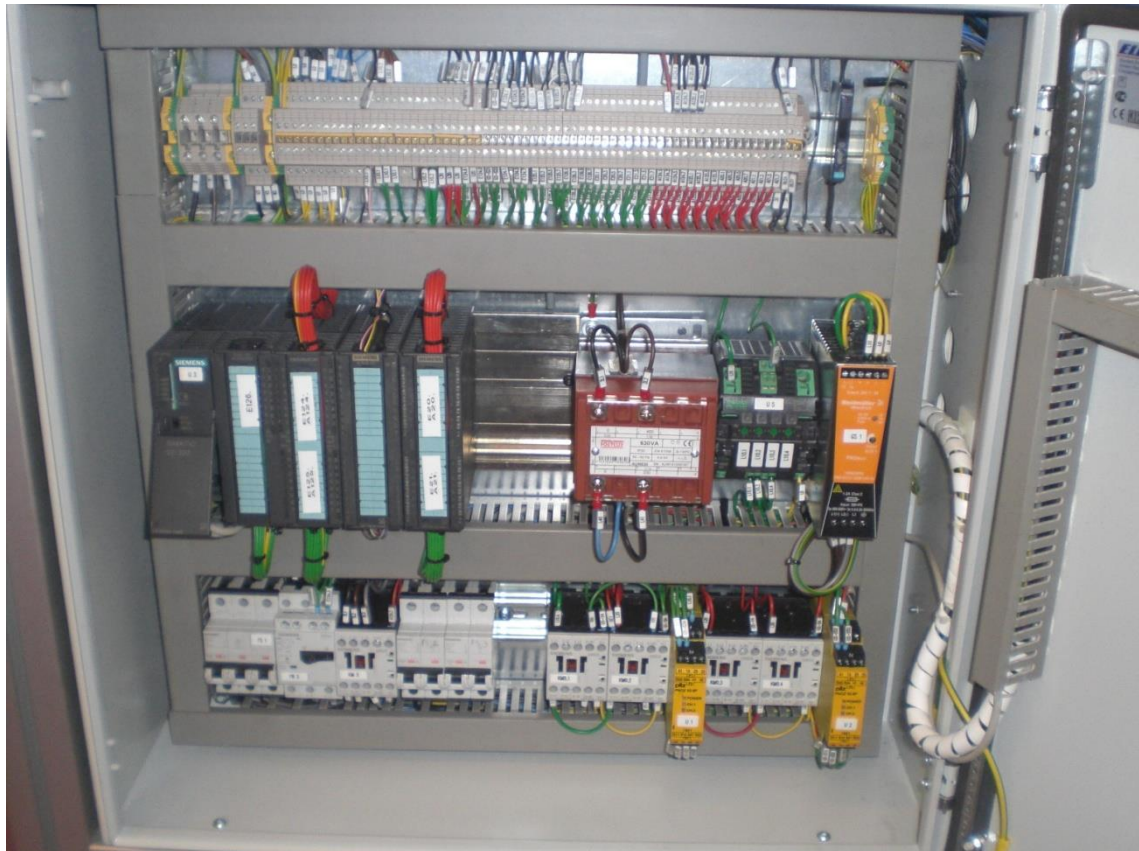


Ilustración 71: Interior del cuadro eléctrico.

## *12.- Bibliografía.*


---

- Catálogo de Festo (2014).
- Catálogo de Hiwin Motion control and System Technology. Linear Guideway. Technical Information(2011).
- Catálogo de Transmisiones Martinena. Reductores y Motorreductores (2010).
- Catálogo General de SKF (2006).
- W.D. Callister Jr. Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Tomos I y II. Editorial Reverté (2003).
- J.E. Shigley y J.J. Uicker, Jr. Teoría de máquina y mecanismos. Editorial McGraw-Hill (1994).
- D. R. Askeland. La Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Grupo Editorial América (1985).


# ANEXOS




## **LISTA DE COMERCIALES**

		<b>LISTA DE COMERCIALES</b>	
<b>MÁQUINA:</b> MEASURING STATION FOR IR BTH-1222			Plano de Conjunto
<b>CLIENTE:</b> SKF CHINA			<b>1469-XH000</b>
Aprobado: A.FERNANDEZ  Fecha: 07/01/2015		OBSERVACIONES:	
Responsable de Proyecto			

TLFNO.	CANT.	DENOMINACIÓN	REFERENCIA	MARCA
948-257842	1	MOTOREDUCTOR	MVF 27 F i:7 220/380V 50Hz 1450rpm 0,09KW	TECNOTRANS/BOGLIOLI
976 512671	1	GUIA + PATIN	HGW 20 CC 1R 160 (20-20) extremos	HIWIN
976 512671	2	GUIA + PATINES	HGH 20 CA 2R 440 (10-10) extremos	HIWIN
948 355100	5	VENTANAS PET		BIYAK S.L.
948 331933	1	JUNTA TÓRICA	OR 62x4	THN
901 243660	4	SOPORTE	SMBR-8-25	FESTO
901 243660	8	DETECTOR	SME-8M-DS-24V-K-0,3-M8D	FESTO
901 243660	1	TUERCA FK M16x1,5	TUERCA FK M16x1,5	FESTO
901 243660	2	PLACAS FINALES	NEV-1DA/DB-ISO	FESTO
901 243660	5	PLACA BASE	NAV-1/4-1C-ISO	FESTO
901 243660	4	ELECTROVÁLVULA	JMFH-5/2-D-1-FR-C	FESTO
901 243660	1	ELECTROVÁLVULA	MFH-5/2-D-1-FR-C	FESTO
901 243660	1	UNIDAD DE MANTENIMIENTO	LFR-1/4-D-MINI-KG	FESTO
901 243660	1	PIES DE FIJACIÓN	HPC-25	FESTO
901 243660	1	CILINDRO NEUMATICO	DGP-25-190-PPV-A	FESTO
901 243660	1	CILINDRO NEUMATICO	DSNU-16-10-P-A	FESTO
901 243660	1	CILINDRO NEUMATICO	DSNU-25-150-PPV-A	FESTO
901 243660	1	CILINDRO NEUMATICO	DSBC 50-60 PPV -A	FESTO
	1	SONDA	Nr. 1301	FEMPRUF
94 4461450	2	ROD. RIG. BOLAS	7212 ACP40B	SKF
95 4461450	1	RODAMIENTO AXIAL	51101	SKF
96 4461450	1	ROD. RIG. BOLAS	6002 2RS1	SKF
97 4461450	1	TUERCA	KM 10	SKF

		LISTA DE COMERCIALES		
MÁQUINA:		MEASURING STATION FOR IR BTH-1222		Plano de Conjunto
CLIENTE:		SKF CHINA		1469-XH000
98 4461450	2	CASQUILLO	GLY PC 10 12 12	SKF
99 4461450	2	CASQUILLO	PCM 15 1715 B	SKF
948 324070	1	PEDESTAL DE COJINETE	REF: 3 842 346 595	HIDRANE NAVARRA
948 410166	1	SOPORTE ANTIVIBRATORIO EGAÑA MOD. 1	MODELO 1	SUM. LARGO S.L.

## **LISTA DE PLANOS DE DESPIECE**

		<b>LISTA DE PLANOS</b>	
<b>MÁQUINA:</b> MEASURING STATION FOR IR BTH-1222 <b>CLIENTE:</b> SKF CHINA			Plano de Conjunto <b>1101-XH000</b>
Aprobado: A.FERNANDEZ  Fecha: 07/01/2015		OBSERVACIONES:	
Responsable de Proyecto			

Nº DE PLANO	DENOMINACIÓN	CANT.
1469-XH000	CONJUNTO	1
1469-XH101	PLAQUITA	1
1469-XH102	SOPORTE DETECTOR	1
1469-XH103	SOPORTE	1
1469-XH104	TUERCA	1
1469-XH105	BRIDA DE ARRASTRE	1
1469-XH106	GUIA	1
1469-XH107	SOPORTE	1
1469-XH108	SOPORTE	1
1469-XH109	PIEZAS DE ARRASTRE	1
1469-XH110	BRIDA DE ARRASTRE	1
1469-XH111	BRIDA	1
1469-XH112	BRIDA	2
1469-XH113	CARRIL INA	2
1469-XH114	SOPORTE DETECTOR	2
1469-XH115	CHAVETA	2
1469-XH116	FIJACIÓN FLEX-LINK	2
1469-XH117	PLACA DE ENTRADA	1
1469-XH118	SOPORTE PATINES	1
1469-XH119	PLACA PORTA PATRÓN	1
1469-XH120	GUIA	2
1469-XH121	APOYO DE ANILLO	1
1469-XH122	BRIDA DE CARA INFERIOR	1
1469-XH123	ANCLAJE	1
1469-XH124	TAPAS DE CARRO	2

	LISTA DE PLANOS	
<b>MÁQUINA:</b> MEASURING STATION FOR IR BTH-1222 <b>CLIENTE:</b> SKF CHINA		Plano de Conjunto <b>1101-XH000</b>
Nº DE PLANO	DENOMINACIÓN	CANT.
1469-XH125	CARRO PRINCIPAL	1
0647-XH126/1	CUERPO DE GIRO	1
0647-XH127	TAPA INFERIOR	1
0674-XH128	TAPA SUPERIOR	1
0647-XH129/1	CUERPO DE GIRO	1
0647-XH130/1	DISTANCIAL	1
0647-XH131	SOPORTE	1
0647-XH132	SOPORTE PALPADOR	1
0647-XH134	BRIDA PORTA Sonda	1
0647-XH135	CASQUILLO SUPLETORIO	1
0647-XH136	ARANDELA	1
0647-XH137	ENGRANE CENTRAL	1
0647-XH138	POSTIZO MOTOREDUCTOR	1
0647-XH139	CASQUILLO	1
0647-XH140	ENGRANAGE MOTRIZ	1
0647-XH141	CALZO DE REDUTOR	1
0647-XH142	SOPORTE REDUCTOR	1
0647-XH143/1	SOPORTE TORNILLO REGULACIÓN	1
1469-XH144	SOPORTE PASO A PASO	1
1469-XH145	GUIA DERECHA	1
0647-XH146	TORNILLO DE REGULACIÓN	1
1469-XH147	LEVA OR /LEVA IR	1
1469-XH148	CRUZ DE ELEVACION	1
1469-XH149	SOPORTE CILINDRO	1
1469-XH150	PROTECCION ENGRANAJE	1
0647-XH463	ESTRUCTURA	1
0647-XH463	DESPIECE ESTRUCTURA	1
0647-XH550	PLACA	1



**LC-4.13 (Ed. 2)**

	LISTA DE PLANOS	
<b>MÁQUINA:</b> MEASURING STATION FOR IR BTH-1222 <b>CLIENTE:</b> SKF CHINA		Plano de Conjunto <b>1101-XH000</b>
Nº DE PLANO	DENOMINACIÓN	CANT.
1469-XH500	CONJUNTO DE UTILLAJE	1
28-V7.3.720.375	PORTA-PATRON	1
28-V7.3.720.376	EMPUJADOR	1
28-V7.3.720.377	PLETINA	1
28-V7.3.720.378	PORTA-RODAMIENTOS	1
28-V7.3.720.379	PLACA DE SALIDA	1
28.V7.3.720.509	PISADOR	1
28.V7.3.720.510	PORTA-SONDA	1
28.V7.3.720.511	EJE	1
28.V7.3.720.512	TUERCA	1
28.V7.3.720.513	ARANDELA	1
28.V7.3.720.514	TUERCA	1
28.V7.3.720.515	MUELLES	1
28.V7.3.720.518	PORTA-PATRÓN	1
28T.V7.4.720.701	DISTANCIAL	1


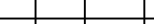


## Plano de Conjunto

**1101-XH000**

[illegible]

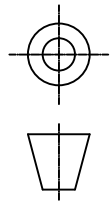
**PLANOS DE CONJUNTO**  
**Y**  
**DESPIECE**

		0,8/ Rectificado		DET.	CANT.	DENOMINACION	MATERIAL	TRATAMIENTO			DUREZA	
		1,6/ Meconizado Fino		<p>AUTOMATIZACIONES</p> 	<p>MAQUINA: XHM-110 MEDICION AJ</p>				Escala: 1:3	Fecha	Firma	
Soldadura no especificada		3,2/ Meconizado Normal							Tolerancias no especificadas	Realizado	12-04-11	A. Fernández
Instrucción de Soldadura IS-740		10/ Meconizado Basto							<p>H10 - Agujeros</p> <p>h10 - Ejes</p> <p>J10 - Longitudes</p>	Aprobado	12-04-11	J. LAFUENTE
				CONJUNTO: 1469-XH000				O.T.: 10344	A2		N° PLANO: 1469-XH000	

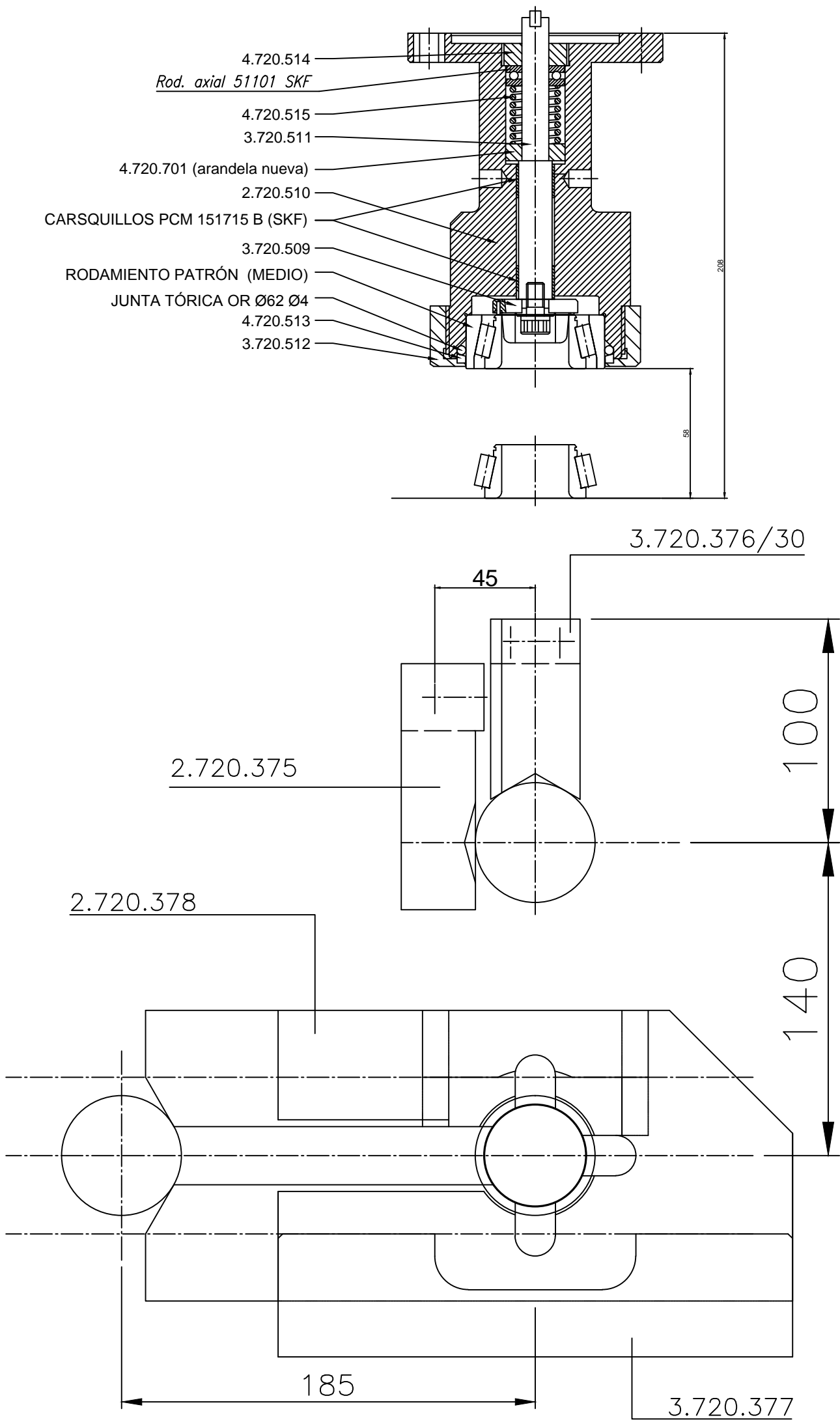
Soldadura no especificada  
Instrucción de Soldadura IS-7.40

Tolerancias no especificadas  
H10 - Agujeros  
h10 - Ejes  
J10 - Longitudes


0,8 /  
✓ Rectificado  
1,6 /  
✓ Mecaniz. Fino  
3,2 /  
✓ Mecaniz. Normal  
10 /  
✓ Mecaniz. Basto



Conjunto N°: \_\_\_\_\_



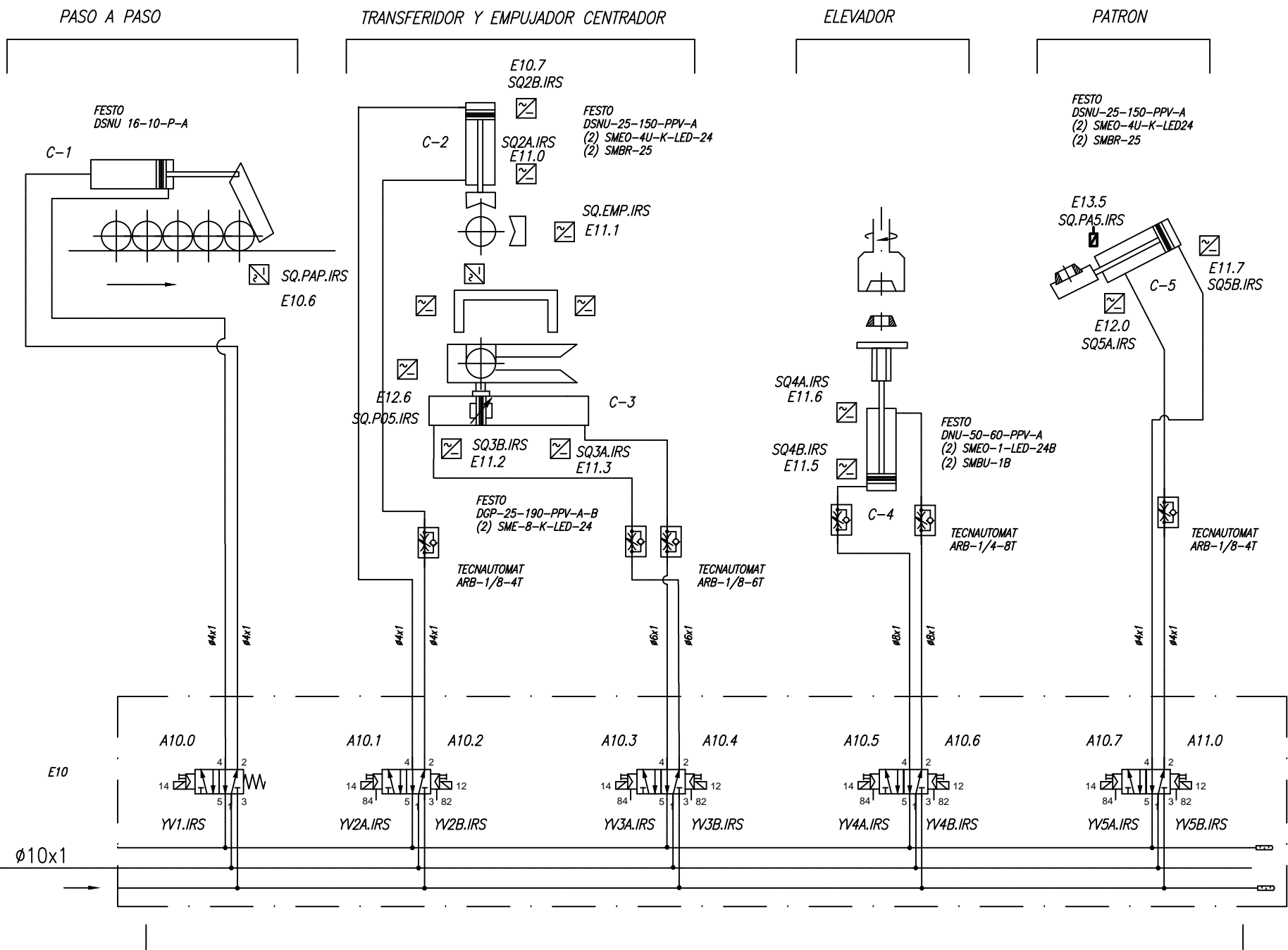
Biselar Aristas  
Marcar N° de plano

	1							
DET.	CANT.	DENOMINACION		MATERIAL	TRATAMIENTO		DUREZA	
<div>AUTOMATIZACIONES</div> <div></div>		MAQUINA: XHM-110 MEDICION AJ			Escala: 1:3		Fecha	Firma
					Realizado		19/01/15	A.FERNANDEZ
					Aprobado		19/01/15	J.LAFUENTE
		CONJUNTO: 1469-XH000			O.T.: 15959	A3	Nº PLANO: 1469-XH500	

# **ESQUEMA NEUMÁTICO**

Soldadura no especificada  
Instrucción de Soldadura IS-7.40

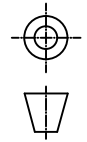
Conjunto N°: \_\_\_\_\_




FESTO  
4 Electroválvulas JMFH-5/2-D-1C-24V=  
1 Electroválvulas MFH-5/2-D-1-FR-C  
5 Placas Base NAV-1/4-1C-ISO  
2 Placas finales NEV-1DA/DB-ISO

Biselar Aristas  
Marcar N° de plano

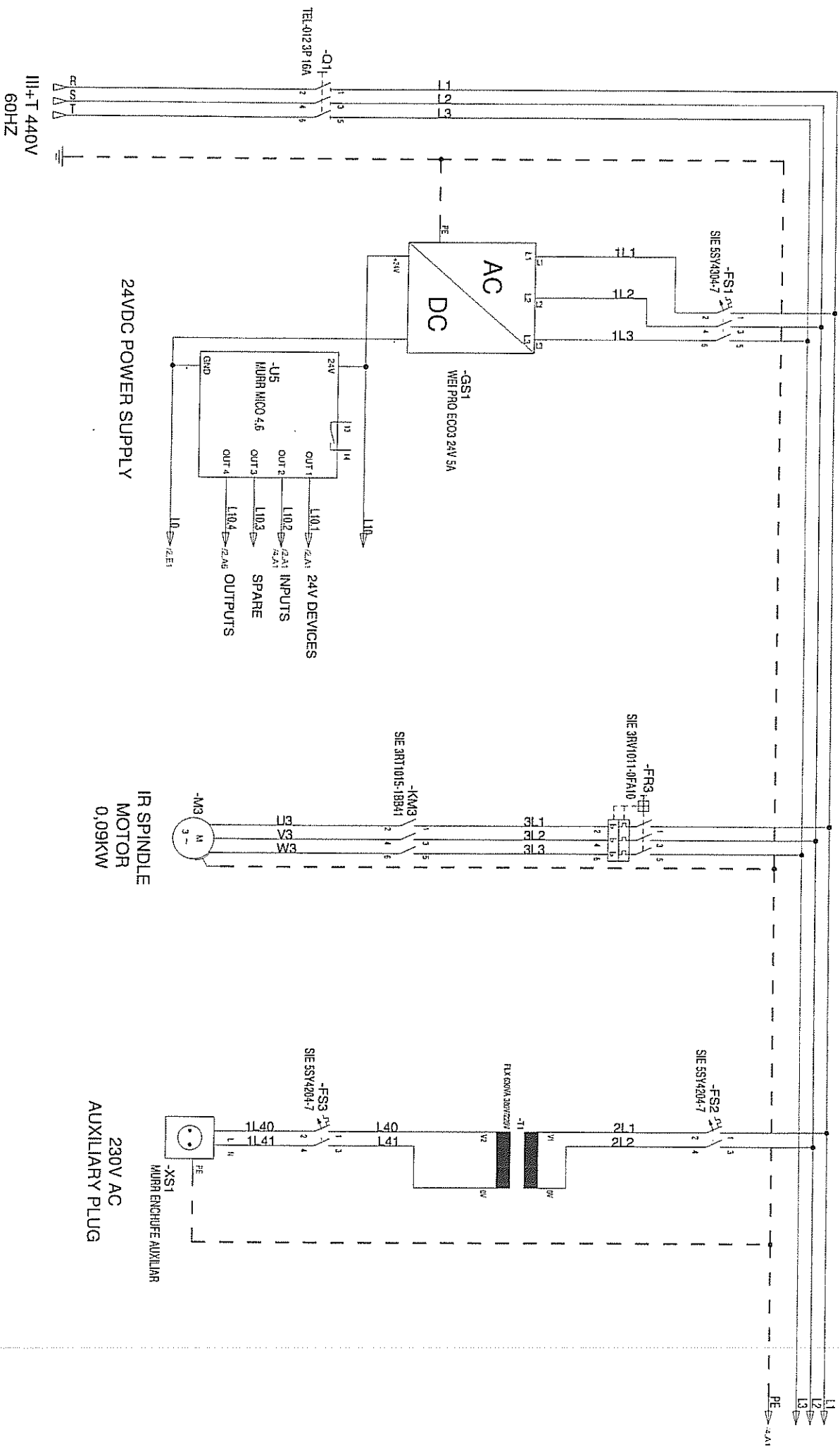
0,8/  
✓ Rectificado  
1,6/  
✓ Mecaniz. Fino  
3,2/  
✓ Mecaniz. Normal  
10/  
✓ Mecaniz. Basto



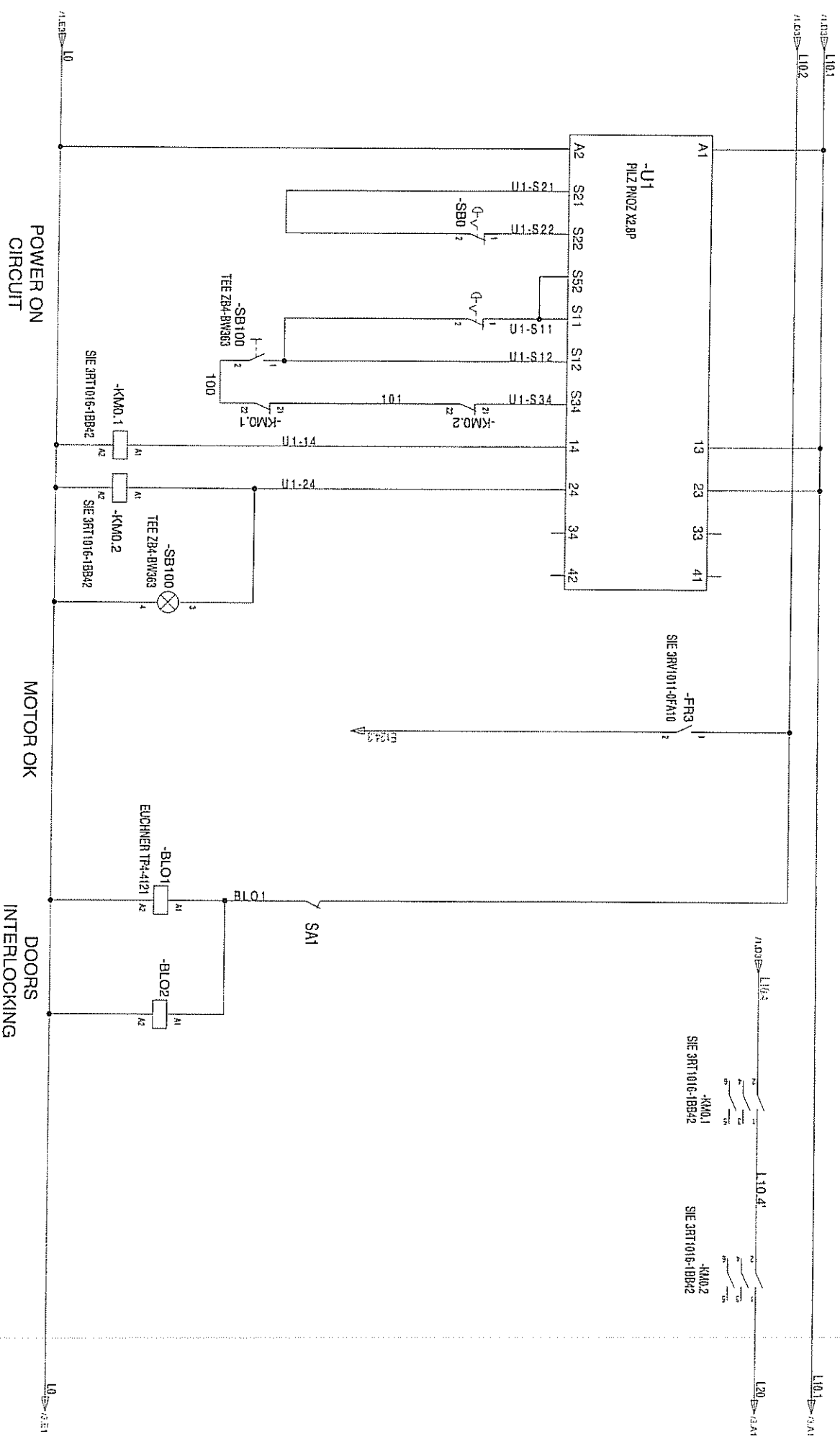
Tolerancias no especificadas  
H10 - Agujeros  
h10 - Ejes  
J10 - Longitudes

		ESTACION IR TAPETE SUPERIOR						
DET.	CANT.	DENOMINACION		MATERIAL	TRATAMIENTO		DUREZA	
<div>AUTOMATIZACIONES</div> <div></div>		MAQUINA: <div>XHM-110</div> <div>MEDICION AJ</div>			Escala: 1:1		Fecha	Firma
					Realizado		12/05/11	A.FERNÁNDEZ
		Aprobado		12/05/11	J.LAFUENTE			
		CONJUNTO: NEUMATICA			O.T.: 10344	A3	N° PLANO: 1469-N001	

# **ESQUEMAS ELÉCTRICOS**

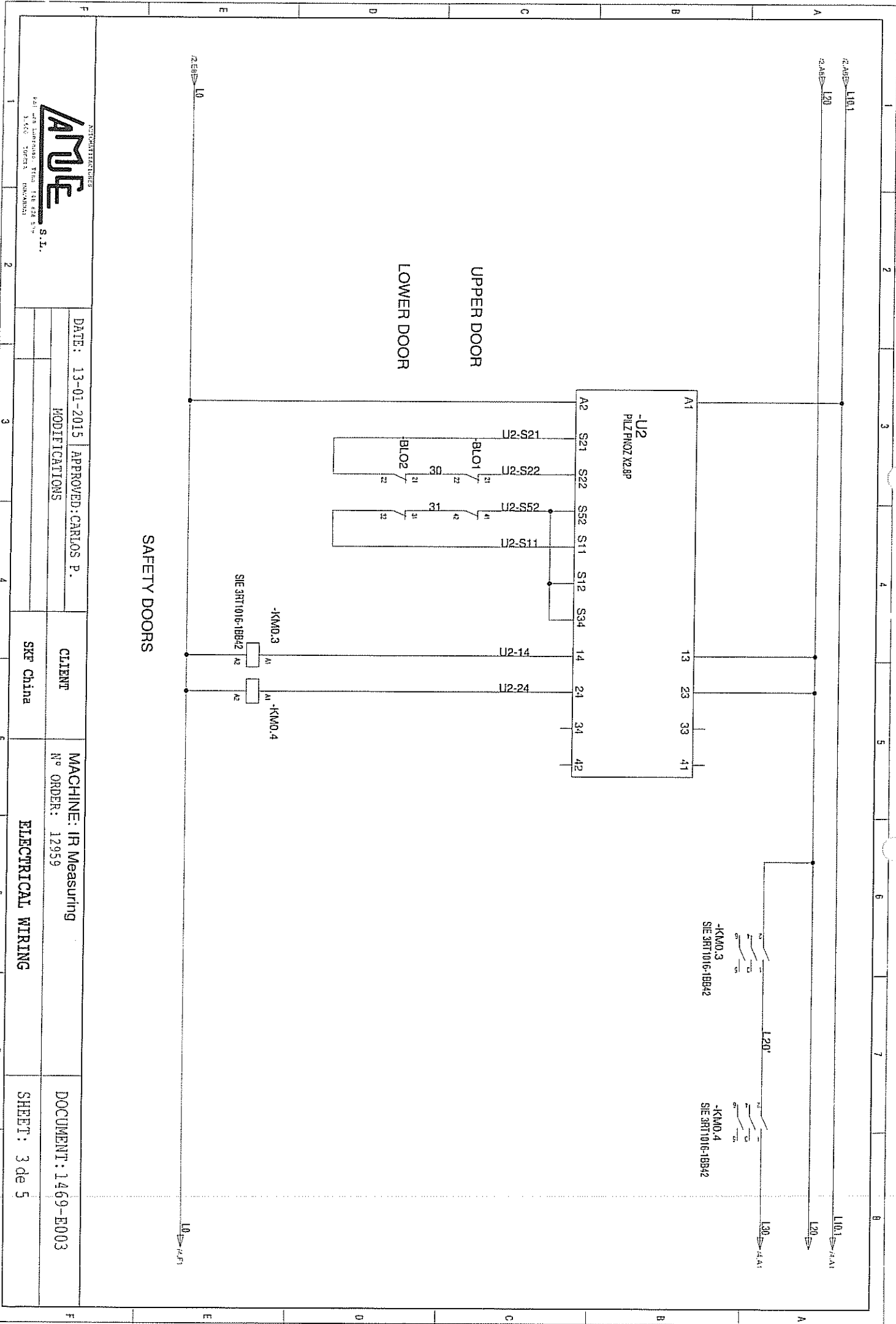






AMUE S.L.  
1.000 TONNEN  
1.000 TONNEN

DATE: 13-01-2015	APPROVED: CARLOS P.	CLIENT	MACHINE: IR Measuring Nº ORDER: 12959	DOCUMENT: 1469-E002
MODIFICATIONS		SKF China	ELECTRICAL WIRING	SHEET: 2 de 5



1469-E003

DATE: 13-01-2015

APPROVED: CARLOS P.

CLIENT

MACHINE: IR Measuring

MODIFICATIONS

Nº ORDER: 12959

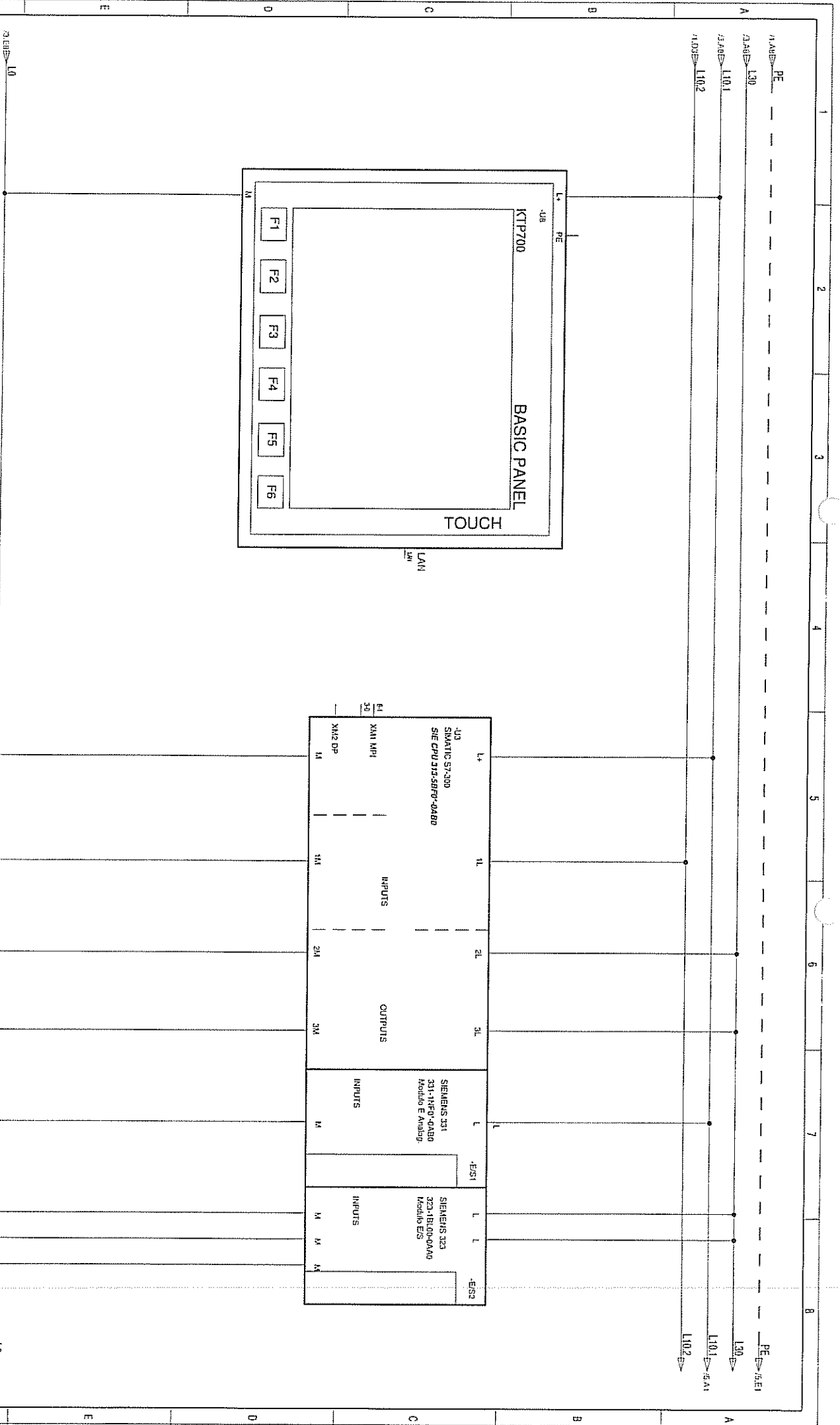
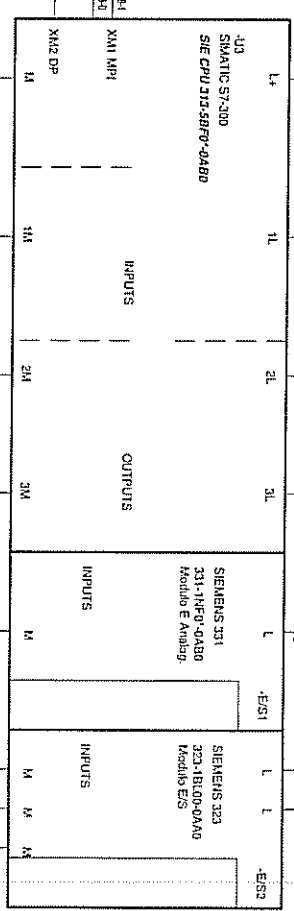
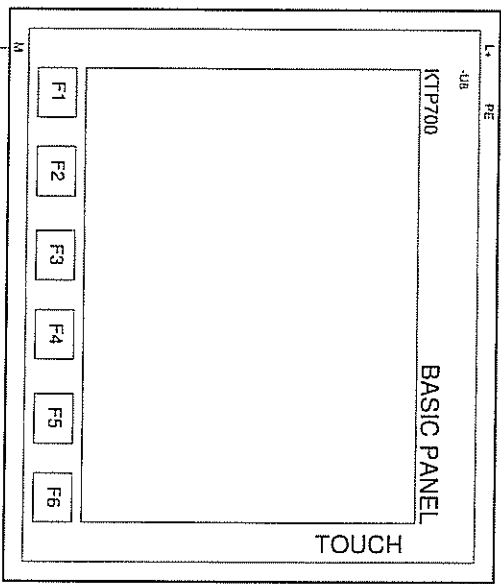
DOCUMENT: 1469-E003

1469-E003

SKE China

ELECTRICAL WIRING

SHEET: 3 de 5



RS: 200 LIMA, TEL: 518 628 114  
31550 - 200 LIMA (PERU)

DATE: 13-01-2015 APPROVED: CARLOS P.

MODIFICATIONS

CLIENT

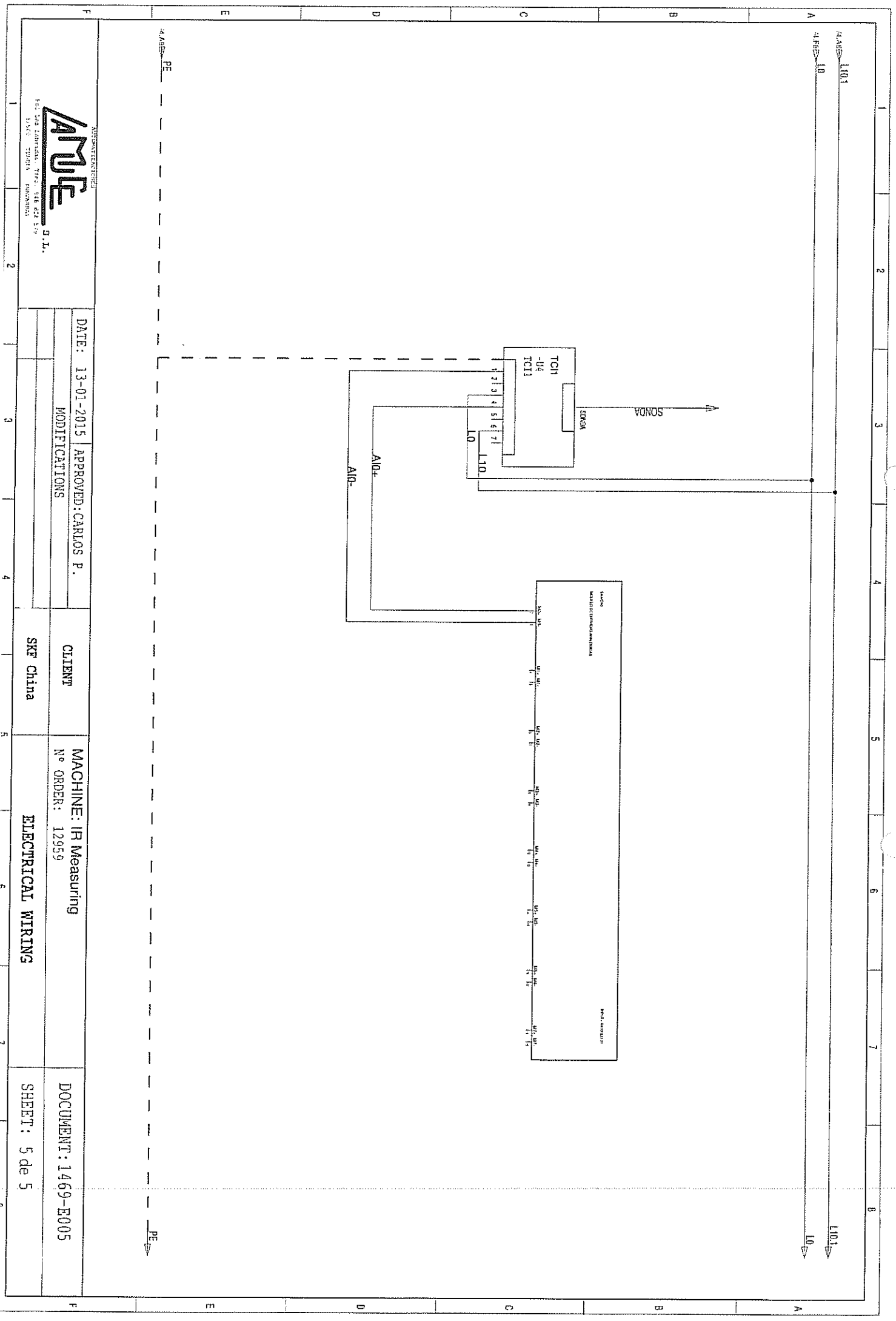
SKE China

MACHINE: IR Measuring  
Nº ORDER: 12959

ELECTRICAL WIRING

DOCUMENT: 1469-E004

SHEET: 4 de 5



<b>INFORMACIÓN</b>	
FECHA: 13-01-2015 APROBADO: CARLOS P.	
MODIFICACIONES	
CLIENTE	MACHINE: IR Measuring
SKF China	Nº ORDER: 12959
ELECTRICAL WIRING	
DOCUMENT: 1469-E005	
SHEET: 5 de 5	